

MESURES DU CHAMP ET DU GRADIENT DU CHAMP DANS UNE SECTION DROITE
DU MODELE AC III B

Ce rapport contient le compte rendu des mesures que nous avons effectuées sur le modèle AC III B dans les secteurs focalisants et défocalisants¹⁾, l'alimentation étant faite en courant continu. L'influence du champ rémanent a été analysée en détail.

Il comprendra :

- 1ère partie : Description du modèle et des dispositifs de mesure
- 2ème partie : Mesure du champ magnétique
- 3ème partie : Flux de fuites
- 4ème partie : Mesures de $\frac{\Delta B}{B_0}$
- 5ème partie : Mesures mécaniques
- 6ème partie : Conclusions et discussion des résultats.

1) Nous avons choisi arbitrairement comme sens radial positif la direction du noyau magnétique vers l'entrefer. Nous appellerons donc secteur focalisant, ou bien à forme fermée, celui qui dans le cas précédent donne lieu à une focalisation radiale des particules, et secteur défocalisant ou bien à forme ouverte l'autre.

- 2 -

Ière PARTIEA. Description du modèle.

Le modèle AC III B a été construit pour donner la même valeur de n que le modèle AC III/A. Il est divisé en deux parties $\frac{1}{2}$ secteur focalisant, $\frac{1}{2}$ secteur défocalisant comme l'indique la fig.1.

Le profil polaire correspond à une portion d'hyperbole de même équation que celle du modèle AC III/A, $xy = \pm 1255 \text{ mm}^2$. La largeur de la portion d'hyperbole est de 92,5 mm (voir fig.1) et l'entrefer, dans le plan longitudinal qui contient les intersections des profils hyperboliques des deux secteurs est de 34,3 mm. L'orbite donnée par intersection de ce plan avec le plan de symétrie de l'aimant (que nous appelons souvent "plan médian") a été nommée "orbite d'équilibre". Il y a 120 tours de barres de cuivre de 5×25 mm, pouvant supporter avec ventilation un courant de 400 A en régime continu et de 500 A pendant une vingtaine de minutes.

B. Description du dispositif de mesures (fig.2).

L'ensemble de ces mesures a été fait en employant une bobine tournante entraînée par un moteur synchrone monophasé à 1500 t/minute. Les balais sont en carbo-argent et le collecteur en argent. 2 bobines identiques sont montées côte à côte, la distance de leurs axes de symétrie est de 7 mm. Un soin tout particulier a été apporté à la construction des bobines et du système d'entraînement afin d'éviter toutes les causes de perturbation et en particulier les vibrations.

Les deux bobines ont été reliées à la fois en série ou en opposition pour mesurer les valeurs du champ (B) ou sa variation ΔB sur l'axe de symétrie de l'ensemble des bobines. On a ainsi évité de déplacer les bobines pendant la mesure

- 3 -

de $\frac{\Delta B}{B_0}$ sur l'orbite d'équilibre en fonction du courant. Les erreurs de position ont été ainsi éliminées dans ce rapport.

La tension obtenue à la sortie a été mesurée au moyen d'un atténuateur constitué par deux boîtes de résistances dont la précision était de 0,1 o/o et d'un voltmètre électronique Philips. Ce dernier était employé à déviation constante, l'aiguille étant maintenue à la même position par la manipulation des boîtes. On a ainsi supprimé l'influence des erreurs d'étalonnage de l'échelle.

Pour la mesure de petites variations du champ ou du gradient autour de l'orbite d'équilibre, le voltmètre a été employé directement.

Les tensions à mesurer étant certaines fois de l'ordre de 1 mV, un soin tout particulier a dû être apporté au système de blindage et à la mise à la terre. D'autre part, un oscilloscope permettait de contrôler à chaque instant la forme de l'onde.

Le déplacement des bobines dans l'entrefer de l'aimant a été obtenu en montant le moteur sur le charriot d'un petit tour qui permettait le mouvement en deux directions (radiale et longitudinale) dans le plan médian des pièces polaires. Ensuite un nouveau charriot, spécialement construit pour cela et permettant d'effectuer et de mesurer avec une meilleure précision des déplacements dans les trois directions, a été employé pour les mesures des variations du champ en direction longitudinale et hors du plan médian.

La position initiale des bobines tournantes par rapport à l'aimant a été réperée à l'aide d'un cathétomètre.

C. Etalonnage.

L'étalonnage des bobines tournantes a été fait dans un champ magnétique uniforme dont la valeur a été mesurée à 0,1 o/o près au moyen d'une méthode de

- 4 -

résonance nucléaire. En plus, les bobines ont été soigneusement équilibrées en les mettant en opposition et en réduisant au minimum la faible tension résultante au moyen d'une résistance insérée en parallèle avec celle des deux bobines qui donnait le signal le plus fort. La différence n'a pu être complètement annulée à cause de la différence de phase entre les deux signaux. Cette dernière a été trouvée de l'ordre du millièmes de radian : l'erreur qu'elle introduit dans les mesures de ΔB dans la partie de l'entrefer qui nous intéresse est inférieure à $5 \cdot 10^{-4}$.

Dans l'étalonnage les tensions de sortie ont été mesurées en utilisant le même système d'atténuation que pour les mesures sur l'aimant. Le rapport d'étalonnage pour chacune des bobines est de 1,280 gauss/mV.

D. Erreurs dans les mesures :

1) Mesures mécaniques

Le charriot du tour, employé pour les mesures dans le plan médian, en direction radiale, permettait de mesurer les déplacements dans cette direction avec des erreurs inférieures à 2/10 mm. Au contraire, la mesure absolue de la position par rapport à l'aimant était peu précise parce que le charriot n'était pas rigidement fixé à l'aimant. Les mesures des valeurs du champ et du gradient à l'orbite d'équilibre ont été répétées avec le nouveau charriot et tous les résultats précédemment obtenus ont été rapportés à ces dernières mesures.

La détermination initiale de la position radiale de la bobine par rapport à l'aimant au moyen du cathétonètre était faite à $\pm 0,1$ mm près. Tenant compte de toutes les causes d'erreur, la position de la bobine par rapport à l'aimant était connue :

- à $\pm 0,4$ mm près dans le sens radial
- de ± 1 mm près dans le sens vertical et
- de ± 1 mm près dans le sens longitudinal.

- 5 -

2) Mesures magnétiques

Les principales causes d'erreurs dans les mesures de B et de ΔB sont :

- a) Erreurs d'étalonnage de l'échelle du voltmètre électronique (± 1 o/o)
- b) Instabilité de l'amplification du voltmètre électronique
- c) Signaux dûs aux vibrations de la tige
- d) Signaux dûs aux contacts des bobines et aux balais
- e) Signaux parasites.

Toutes les précautions ont été prises pour réduire l'influence de chacune d'elles ; la cause a) a été complètement éliminée dans les mesures avec la méthode des boîtes de résistance.

Il est à noter que les causes d) et e) donnent des perturbations qui ne dépendent pas de la valeur du champ, elles ne sont dangereuses que pour les mesures faites aux faibles courants. Lors d'essais spéciaux nous avons trouvé que leur influence pouvait être réduite à moins de 0,5 o/o même pour la mesure du gradient dans le champ rémanent.

On a observé durant toutes les mesures l'influence d'une tension sinusoïdale environ 1000 H_z se superposant à la tension sinusoïdale à une fréquence à 25 H_z . Ce petit signal est proportionnel au champ et est sans doute dû à une vibration mécanique de la sonde. Ce signal supplémentaire était d'environ 0,05 o/o du signal principal dans un champ uniforme. Lors des mesures en opposition cette perturbation pouvait causer une erreur systématique d'environ 0,5 o/o sur toutes les mesures.

Il est à noter que cette erreur a pu être totalement supprimée par l'emploi d'un moteur triphasé.

- 6 -

Quand le voltmètre est alimenté avec une tension stabilisée, l'instabilité de l'amplification reste inférieure à 0,5 o/o. Nous avons évalué l'influence globale de toutes les causes d'erreur lors de différents essais.

L'erreur totale ne dépasse pas la valeur de ± 1 o/o pour les mesures de $\Delta B/B_0$.

Toutefois, comme les causes d'erreurs systématiques agissent toujours dans le même sens, la forme des courbes des variations de $\frac{\Delta B}{B}$ peut être garantie à beaucoup moins de $\pm 0,5$ o/o. Naturellement dans les mesures absolues de $\Delta B/B_0$ et B_0 , les erreurs dues à la détermination de la position par rapport à l'aimant s'ajoutent à celles signalées ci-dessus.

- 7 -

II^{ème} PARTIEMesure du champ.Direction radiale.

Le champ magnétique a d'abord été mesuré dans le plan médian géométrique. La fig.3 représente les courbes du champ d'induction B en fonction du courant pour différentes positions radiales et la fig.4 les courbes du champ en fonction de la position radiale pour différentes valeurs du courant.

Aucune différence¹⁾ n'a été observée entre les deux secteurs de l'aimant. Il suffit d'inverser dans les courbes le sens du déplacement radial pour avoir les courbes de l'autre secteur.

Pour de petits courants magnétisants, l'influence des variations du champ rémanent que nous décrirons plus loin, introduit des différences de tôle à tôle.

La fig.5 représente pour le rémanent les valeurs de $B = f(\Delta r)$ mesurées au niveau des deux tôles no.7 et 17, et à titre de comparaison nous avons représenté sur la même figure les courbes correspondant aux mêmes quantités pour un courant magnétisant de 95^A afin de bien montrer que la différence entre tôles est spécifique du rémanent.

Fig.6 nous avons représenté pour une tôle les variations de B sur l'orbite d'équilibre en fonction du courant magnétisant I pour les faibles valeurs de celui-ci $0 < I < 100A$.

Direction verticale (z).

Nous avons mesuré B en fonction de z par différentes positions radiales soit par rapport à l'orbite d'équilibre $r = (+5)(+2)(+1,5)(0)(-1,5)(-5)$ ainsi que pour Δr correspondant au maximum de B dans le plan $z = 0$. Ces séries de

1) Les différences restent inférieures aux erreurs de mesure.

- 8 -

mesures ont été faites pour le rémanent et pour $B_0 = 150, 4000, 12.000, 15.500$ gauss.

Nous n'avons trouvé aucune différence (supérieure aux erreurs d'expériences) entre les 2 secteurs et aucune asymétrie par rapport au plan $z = 0$. Nous ne donnons les résultats que pour le secteur focalisant et pour z positif.

La fig.7 représente les résultats pour $\Delta r = +2, +5$ et pour la valeur de Δr correspondant à $B(0)$ maximum. On a représenté la différence $B(z)-B(0)$ en pourcent de $B(0)$. Les variations étant faibles, nous n'avons représenté en a et b que les courbes extérieures, les autres étant comprises entre ces deux courbes.

La fig.8 représente le champ en fonction de la position radiale pour $z=0$ et $z = 6$ mm pour $B_0 = 6.000$ gauss. Dans la région de l'orbite d'équilibre la différence étant extrêmement faible n'a pu être représentée. Nous avons trouvé une différence appréciable pour le maximum ; celui-ci étant augmenté et sa position radiale déplacée.

Direction longitudinale.

Pour les valeurs supérieures à 100^{th} nous n'avons observé aucune différence entre les tôles ou entre les deux secteurs supérieurs aux erreurs d'expériences.

Les fig.9 et 10 représentent les variations de B_0 le long de l'aimant pour différentes positions radiales, 9 correspondant au champ rémanent et 10 à un courant magnétisant de 2,5 A soit B_0 voisin de 160 gauss. Pour le rémanent les différences entre tôles sont très importantes et atteignent 10 gauss.

La valeur moyenne du champ à l'orbite d'équilibre est différente pour les deux secteurs de l'aimant; pour le rémanent : 46 gauss dans l'un et 54 gauss dans l'autre.

Cette différence étant du même ordre de grandeur que l'écart entre deux tôles d'un même secteur, il est nécessaire de procéder à des essais spéciaux

- 9 -

pour voir si elle est due à des différences entre les propriétés magnétiques des tôles de la culasse ou des pièces polaires ou à l'asymétrie du circuit magnétique.

Nous avons premièrement tourné (de 180°) les pièces polaires autour d'un axe vertical (axe z en fig.11) ce qui permet de voir l'influence du fer des pièces polaires elles-mêmes.

Ensuite nous avons effectué une rotation de 180° de l'ensemble des pièces polaires autour d'un axe horizontal (axe x fig.11) pour déterminer l'influence de l'asymétrie du circuit. Avant chacune de ces mesures le champ rémanent était tout d'abord réduit au voisinage de zéro par le passage d'un courant de sens convenable et nous décrivons ensuite des cycles de 0 à 300 A.

La fig.11 représente les trois courbes obtenues pour les variations longitudinales du champ sur l'orbite d'équilibre pour les trois positions des pôles décrites ci-dessus. Les courbes sont assez voisines les unes des autres les petites différences étant dues aux variations du rémanent provenant de la difficulté de reproduire exactement les mêmes cycles avant chaque mesure. Ces courbes montrent que les variations de B observées sont ^{principalement} dues aux différences de propriétés magnétiques des tôles de la culasse de l'électro-aimant.¹⁾

Les variations observées sur la fig.10 correspondent exactement à celles de la fig.9 et sont dues à l'influence du rémanent. En admettant que le gradient du champ est constant pour toutes les tôles - ce qui est approximativement vérifié (on a 25,5 gauss/cm), il a été possible de tracer sur la même figure une échelle indiquant de combien de millimètres on doit se déplacer dans la direction radiale pour rester sur une ligne à champ constant. L'origine de ces déplacements a été prise à $-1,34$ mm qui correspond pour cette valeur du courant au déplacement moyen. La valeur du champ correspondante est de 159,7 gauss. Le déplacement maximum est de 2,7 mm.

1) Les caractéristiques magnétiques des tôles constituant la culasse seront prochainement mesurées pour chacune d'elles. Afin de détruire toutes les dissymétries dans les tôles pouvant provenir de traitements antérieurs, celles-ci ont été amenées à un état de saturation élevée (21.000 gauss dans le moyen) en court-circuitant l'entrefer par une barre de fer. Aucun changement n'a été observé dans les irrégularités du champ rémanent, sa valeur moyenne s'étant seulement accrue de 13 gauss.

- 10 -

III^{ème} PARTIEFlux de fuites et champ de transition entre les deux secteurs de l'aimant.A. Flux de fuites.

Afin de compléter le rapport CERN-PS/MM 4 sur l'étude des flux de fuites, nous avons mesuré les flux de fuites¹⁾ aux deux extrémités de l'aimant, c'est-à-dire pour un secteur ouvert et un secteur fermé. Les résultats obtenus sont en parfaite concordance avec ceux du précédent rapport et les différences entre les deux secteurs sont très faibles.

Nous avons représenté fig.12a les résultats obtenus, montrant l'augmentation de longueur effective de l'aimant en fonction de Δr pour différentes valeurs du courant magnétisant.

Afin de préciser, comme nous l'avons déjà signalé, l'influence des différences de répartition des forces magnéto-motrices à l'extérieur de l'aimant, comme nous l'avons expliqué dans le rapport CERN-PS/MM 4, entre le rémanent et les valeurs élevées du courant magnétisant nous avons représenté fig.12b les courbes obtenues si on se limite à 7 cm de l'extrémité de l'aimant comme l'indique le schéma. Dans ce cas la différence entre le rémanent et la courbe $I = 100^A$ est considérablement réduite.

B. Champ de transition entre les deux secteurs de l'aimant.

Afin de compléter les mesures longitudinales, le champ dans la région de transition entre les deux secteurs a été mesuré avec précision.

- 1) Nous avons mesuré le champ pour différentes valeurs de Δr le long de l'aimant et à l'extérieur de celui-ci avec une bobine tournante. Nous en avons déduit l'aire comprise entre cette courbe du champ et l'axe $B = 0$. En divisant cette aire par la valeur de B obtenue à l'intérieur de l'aimant, nous avons obtenu la longueur effective de l'aimant.

- 11 -

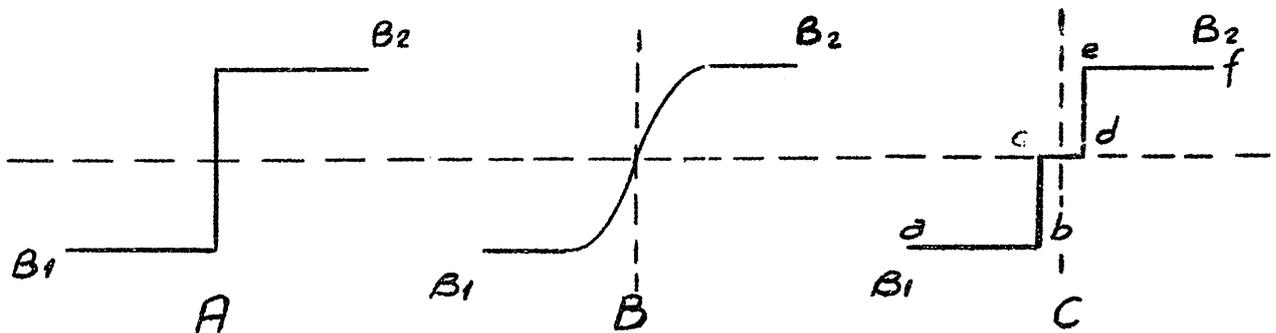
Les fig.13, 14, 15, 16 représentent les résultats obtenus respectivement pour des courants magnétisants de $2,5^A - 100^A - 300^A - 500^A$.

Les courbes sont symétriques par rapport au milieu de l'aimant, c'est-à-dire que l'orbite d'équilibre magnétique coïncide avec l'orbite d'équilibre géométrique définie au début du rapport, sauf pour $I = 2,5^A$ où l'influence du champ rémanent se fait sentir.

Nous voyons que la coupure produit une augmentation du champ magnétique. Afin de traduire ce résultat d'une façon concrète, nous avons tracé les courbes de $\frac{S_1}{B_1}$, $\frac{S_2}{B_2}$ (fig.17) et $\frac{S_1 + S_2}{\left(\frac{B_1 + B_2}{2}\right)}$ (fig.18), ces différentes quantités étant

définies fig.17. Elles ont les dimensions d'une longueur.

Le changement de secteur n'introduit pas une coupure brusque dans le champ telle que celle du schéma A, mais correspond au schéma B que l'on peut représenter



par le schéma C dans lequel le champ conserve une valeur constante jusqu'au changement de secteur (partie a b et e f) et où l'on a ajouté un aimant fictif de longueur cd dans lequel on aurait un champ constant $\frac{B_1 + B_2}{2}$. La quantité $\frac{S_1 + S_2}{\frac{B_1 + B_2}{2}}$ correspond à la longueur cd.

On aurait ainsi une augmentation de 0,6 mm pour l'orbite d'équilibre, de 1,2 mm pour $\Delta r = 1$ cm et de 3 mm pour $r = 2$ cm. Ces valeurs deviennent

- 12 -

très faibles lorsque le courant magnétisant augmente. La valeur absolue de S_2 augmentant et celle de S_1 diminuant à cause de la saturation du fer; elles sont voisines de zéro pour $I = 500$ A.

- 13 -

IV^{ème} PARTIEMesures de $\frac{\Delta B}{B_0}$

Les mesures sont effectuées avec les bobines tournantes selon la méthode précédemment décrite, les 2 bobines étant mises en opposition pour la mesure de ΔB et en série pour la mesure de B_0 .¹⁾ (Les mesures de $\frac{\Delta B}{B_0}$ sur l'orbite d'équilibre sont ainsi faites au même moment et à la même position exactement). La distance entre les deux bobines est de 7 mm.

1) Mesures dans le plan médian de l'aimant. Variations radiales (Δr).

La fig.19 représente les valeurs de $\frac{\Delta B}{B_0}$ en fonction de r pour différentes valeurs de B_0 et la fig.20 les valeurs de $\frac{\Delta B}{B_0}$ en fonction de B_0 pour différentes valeurs de r .

Il est aisé de voir l'influence de la saturation qui est d'autant plus marquée que l'entrefer est étroit. Sur la fig.19 une seule courbe $B = B(\Delta r)$ a été donnée pour toutes les valeurs de B_0 correspondant à une variation linéaire de B en fonction de I . (Si $B = b(x y z) I$ on a $\frac{\Delta B}{B_0} = \frac{\Delta b}{b_0}$ qui est indépendant de I donc de B_0).

Aucune différence supérieure aux erreurs de mesures n'a été observée entre les deux secteurs de l'aimant. Pour le rémanent/les petites valeurs du courant pour lesquelles ce dernier a une influence, nous avons trouvé ainsi que dans les mesures du champ des différences sensibles entre tôles. L'écart maximum observé est de 2,5 o/o et nous avons représenté sur la fig.20 les valeurs extrêmes correspondant aux tôles 9 et 17.

Les autres courbes ont été mesurées dans la tôle 7 qui correspond à peu près à la moyenne des valeurs mesurées pour les différentes tôles.

1) Voir page 2

- 14 -

En dehors de ces anomalies les courbes sont valables pour les deux secteurs à condition d'inverser le sens des déplacements radiaux.

Il est aisé de noter trois régions dans les courbes fonction de B_0 : une première où l'influence du rémanent est importante et donne une augmentation de $\frac{\Delta B}{B}$, une seconde partie où $\frac{\Delta B}{B}$ est constant pour une position radiale donnée et enfin une dernière partie où $\frac{\Delta B}{B}$ décroît sous l'influence de la saturation d'autant plus que l'entrefer est plus petit.

Dans la 1ère région où l'influence du rémanent se fait sentir il est possible d'interpréter les résultats obtenus.

Si l'on admet que la variation de l'induction magnétique est linéaire, ce qui est assez bien vérifié par la courbe fig. 22, on a

$$B = a + b I \quad (1)$$

où a et b sont fonctions de la position ; a correspondant au champ rémanent. On en déduit :

$$\frac{\Delta B}{B(r_0)} = \frac{\Delta a + \Delta b I}{a(r_0) + b(r_0) I} \quad \begin{array}{l} (\Delta a, \Delta b, \Delta B \text{ correspondant} \\ \text{à un déplacement} \\ \text{le long de } r) \end{array} \quad (2)$$

On pose :

$$\frac{\Delta B}{B(r_0)} = \varepsilon \quad \frac{\Delta b}{b(r_0)} = \varepsilon_1 \quad \frac{\Delta a}{a(r_0)} = \varepsilon_0$$

$$h = \frac{a(r_0)}{b(r_0)} \quad k = \frac{\Delta a}{\Delta b} = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_1} \times h$$

l'équation (2) s'écrit alors :

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \frac{I + k}{I + h}$$

- 15 -

qui représente une hyperbole équilatère dont les asymptotes sont $I = -h$ et $g = g_1$. Cette courbe a été dessinée fig.21 avec comme valeurs de paramètre celles que nous avons mesurées sur la maquette pour la tôle 7, soit

$$\begin{aligned} a &= 48 \text{ gauss} & h &= 1,16 \text{ ampère} \\ b &\approx 41,3 \text{ gauss/ampère} & k &= 1,21 \text{ ampère} \end{aligned}$$

Variations dues aux déplacements verticaux.

Nous avons mesuré $\frac{\Delta B}{B}$ en fonction de z pour différentes valeurs de Δr et en fonction de Δr pour différentes valeurs de z . Il est à noter que les variations observées sont très faibles en particulier dans la région utile. A titre d'exemple nous avons représenté sur la même courbe $\frac{\Delta B}{B}$ fonction de Δr pour $z = 0$ et $z = +6$ mm (fig.22). Ces courbes sont valables pour les 2 secteurs et pour les valeurs de B_0 comprises dans la zone où B_0 est proportionnel à I , soit loin de la saturation et du rémanent. La courbe $z = 6$ présente une accentuation des variations que la courbe $z = 0$ présente déjà par rapport à la droite horizontale que nous devrions obtenir si nous avions des hyperboles infinies et un plan neutre. On a représenté fig.23 les variations en o/o de $\frac{\Delta B}{B_0}$ entre les niveaux z et $z = 0$, soit

$$V = \frac{\left(\frac{\Delta B}{B_0}\right)_z - \left(\frac{\Delta B}{B_0}\right)_{z=0}}{\left(\frac{\Delta B}{B_0}\right)_{z=0}} \times 100 = \frac{n(z) - n(z=0)}{n(z=0)} \times 100$$

pour $\Delta r = 0, +15$ mm, -15 mm, pour le champ rémanent, le champ à l'injection, le champ correspondant à $\frac{\Delta B}{B}$ constant et le champ de saturation. Les courbes $+15$ et (-15) sont confondues aux erreurs d'expériences près ;

- 16 -

dans les secteurs focalisants et défocalisants. Dans la région utile on note une différence maximum de 6 o/o pour un déplacement de 7 mm pour $B_0 = 15.500$ gauss.

- 17 -

Vème PARTIE

Mesures mécaniques.

1) Variations de l'entrefer en fonction du courant magnétisant.

La fig.24 représente les variations de l'entrefer minimum en fonction de I . Celles-ci sont faibles, inférieures à $\frac{2}{10}$ de mm pour $B_0 = 12.000$ gauss, et n'ont aucune influence décelable avec les méthodes de mesure employées.

2) Mesures du profil réel des pièces polaires.

Le profil des pièces polaires a été relevé sur la table d'une fraiseuse munie d'une lunette à pointer. Connaissant l'entrefer minimum nous avons déterminé l'équation de l'hyperbole la plus voisine de ce profil dont l'axe des pièces polaires est une des asymptotes. Nous avons obtenu

$$xy = 1255,4 \text{ mm}^2$$

La valeur que nous avons prise pour la construction était $xy = 1260 \text{ mm}^2$. L'erreur est donc très faible.

Nous avons représenté fig.25 la déviation verticale en millimètres par rapport à cette hyperbole des différents points, en fonction de Δr . Ces déviations sont très faibles au voisinage de l'orbite d'équilibre (environ $\frac{3}{100}$ de mm), elles atteignent 0,07 mm au voisinage de l'entrefer minimum, et 0,2 mm pour l'entrefer maximum. Ces erreurs sont assez faibles et ne doivent apporter aucune perturbation dans les mesures.

3) Variations de l'entrefer minimum le long de l'aimant.

Nous avons mesuré au moyen de cames de $\frac{5}{100}$ les variations de l'entrefer le long de l'aimant. Nous avons obtenu les valeurs suivantes :

- 18 -

No. des plaques	Largeur de l'entrefer minimum m/m	Variation par rapport à la valeur moyenne en centième de m/m
1	21,12	0
2	21,07	-5
3	21,07	-5
4	21,12	0
5	21,12	0
6	21,02	-10
7	21,17	+5
8	21,02	-10
9	21,12	0
10	21,12	0
11	21,12	0
12	21,17	+5
13	21,17	+5
14	21,22	+10
15	21,22	+10
16	21,22	+10
17	21,17	+5
18	21,07	-5
19	21,02	-10
20	21,07	-5
21	21,12	0
22	21,07	-5

- 19 -

La valeur moyenne est de 21,12 mm et l'écart maximum observé est de 1/10 de mm.

Les mesures longitudinales ont montré que ces écarts n'avaient aucun effet décelable, ils correspondent à une erreur relative sur l'entrefer vers le minimum de 1/200 .

- 20 -

VIÈME PARTIEConclusions et discussion des résultats.

D'après ces résultats il est possible d'avoir une idée assez précise du comportement du modèle et de suggérer différentes méthodes pour l'améliorer.

A) Profil polaire. La forme hyperbolique adoptée ne donne qu'un champ magnétique imparfaitement linéaire dans la zone utile. Pour $- 2 \text{ cm} < x < + 2 \text{ cm}$ - ce qui correspond dans le modèle réel à une chambre à vide de 12 cm de large - on a une variation maximum de 8 o/o pour la valeur de n .

Il s'avère nécessaire de corriger le profil polaire et le modèle DC IV a spécialement été conçu pour pouvoir étudier les modifications à apporter à celui-ci. Ces variations pourront semble-t-il être aisément ramenées à des valeurs acceptables.

B) Les variations de n pour des déplacements verticaux atteignent 2 o/o dans la région utile.

Ces variations seront aussi corrigées lors de l'étude du profil polaire signalées ci-dessus.

C) L'influence du champ rémanent dû à des cycles de courants toujours de même sens accroît de quelques o/o la valeur de n même pour la valeur de 150 gauss initialement retenue pour l'injection.

Il semble que cette variation, dont le rôle est d'autant plus important qu'il se produit à l'injection, sera beaucoup plus difficile à réduire. Il faudra sans doute envisager soit un cycle de courant capable de réduire la valeur du champ rémanent de façon à rendre son influence négligeable sur n à l'injection avec la

- 21 -

précision désirée soit l'utilisation des bobines de correction. Dans les deux cas ces obligations entraîneront d'assez grandes difficultés et cette question sera étudiée en détail au cours de prochains essais.

D) Du côté des inductions élevées n - décroît. Sa décroissance augmente lorsque l'entrefer diminue - sur l'orbite d'équilibre pour $B_0 = 12.000$ gauss on a une variation de n de 0,5 o/o. Cette variation semble être encore acceptable et pourra être éventuellement corrigée par l'emploi, au moins pour les pièces polaires, d'un fer de qualité meilleure.

E) Les mesures longitudinales ne montrent des variations importantes que pour le champ rémanent et pour les faibles valeurs du champ. Ces variations semblent dues aux différences dans les propriétés magnétiques des tôles. Lorsque les mesures en impulsions auront été faites sur ce modèle différents essais seront effectués pour connaître avec exactitude la cause de ces variations, en particulier les propriétés magnétiques de chaque tôle seront mesurées.

F) La dissymétrie causée par la position du noyau par rapport aux pièces polaires dans les secteurs ouverts ou fermés ne donne lieu à aucune différence bien définie de champ ou de gradient entre les deux secteurs. Les différences découvertes pour le rémanent et les faibles courants semblent être dues seulement aux propriétés magnétiques des tôles constituantes.

G) Les déplacements des pôles dus aux forces magnétiques qui seront encore réduits par rapport à ceux que nous avons observés dans le modèle définitif, ainsi que ceux des bobines n'influent pas d'une manière sensible sur la valeur du champ.

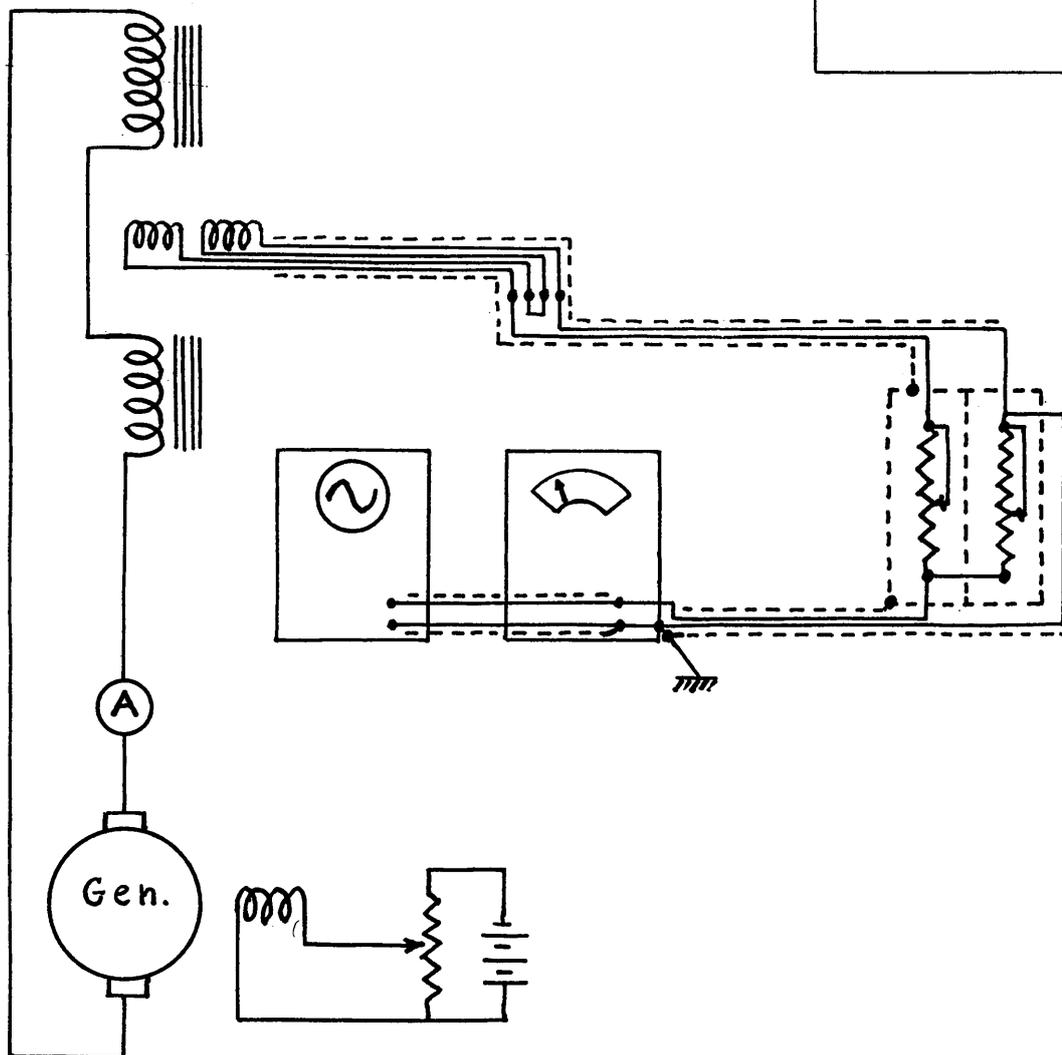
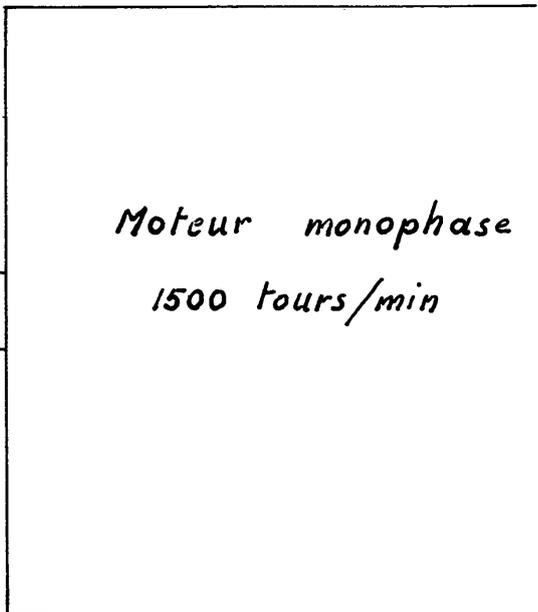
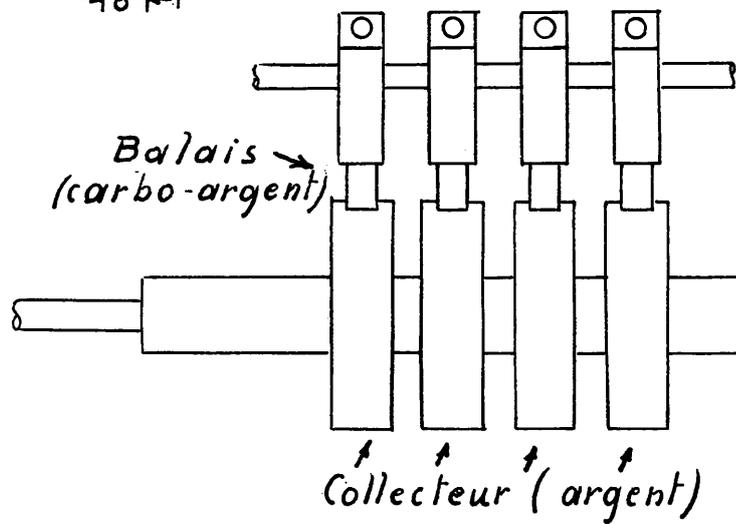
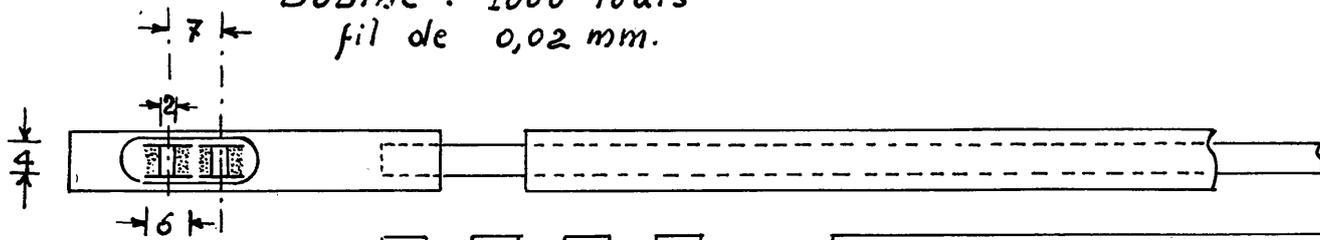
- 22 -

Toutes ces mesures sont des mesures statiques et il sera extrêmement intéressant de les comparer avec les mesures en régime dynamique que nous effectuerons sur ces maquettes. En particulier, la région extrêmement critique de l'injection devra être étudiée tout spécialement. Elle fera l'objet d'un rapport ultérieur.

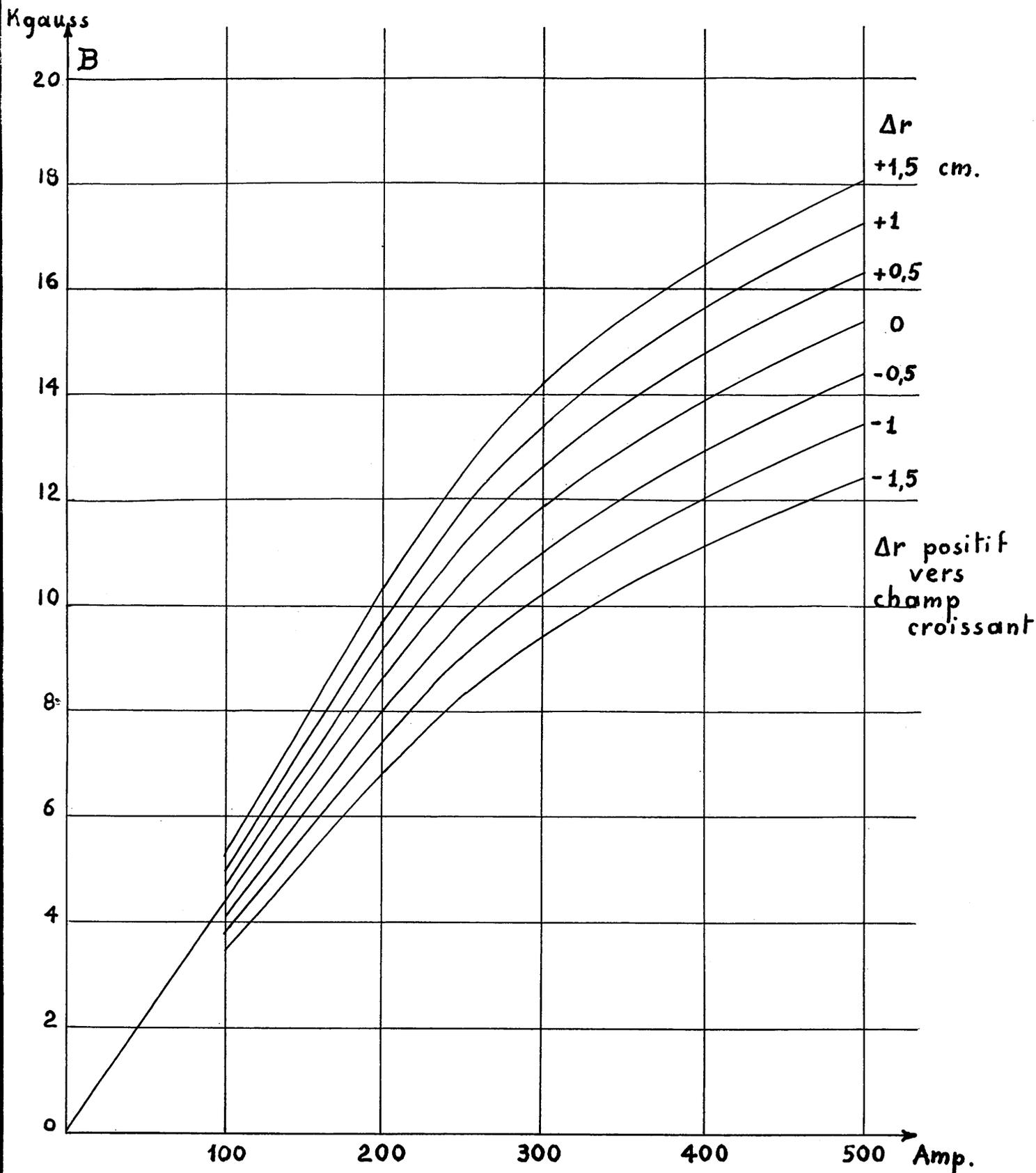
- - - - -

Ont participé à ce rapport : Messrs. P.Denis - B.De Raad - G.Petrucci - L.Resegotti -
A.Sarazin.

Bobine : 1000 tours
fil de 0,02 mm.

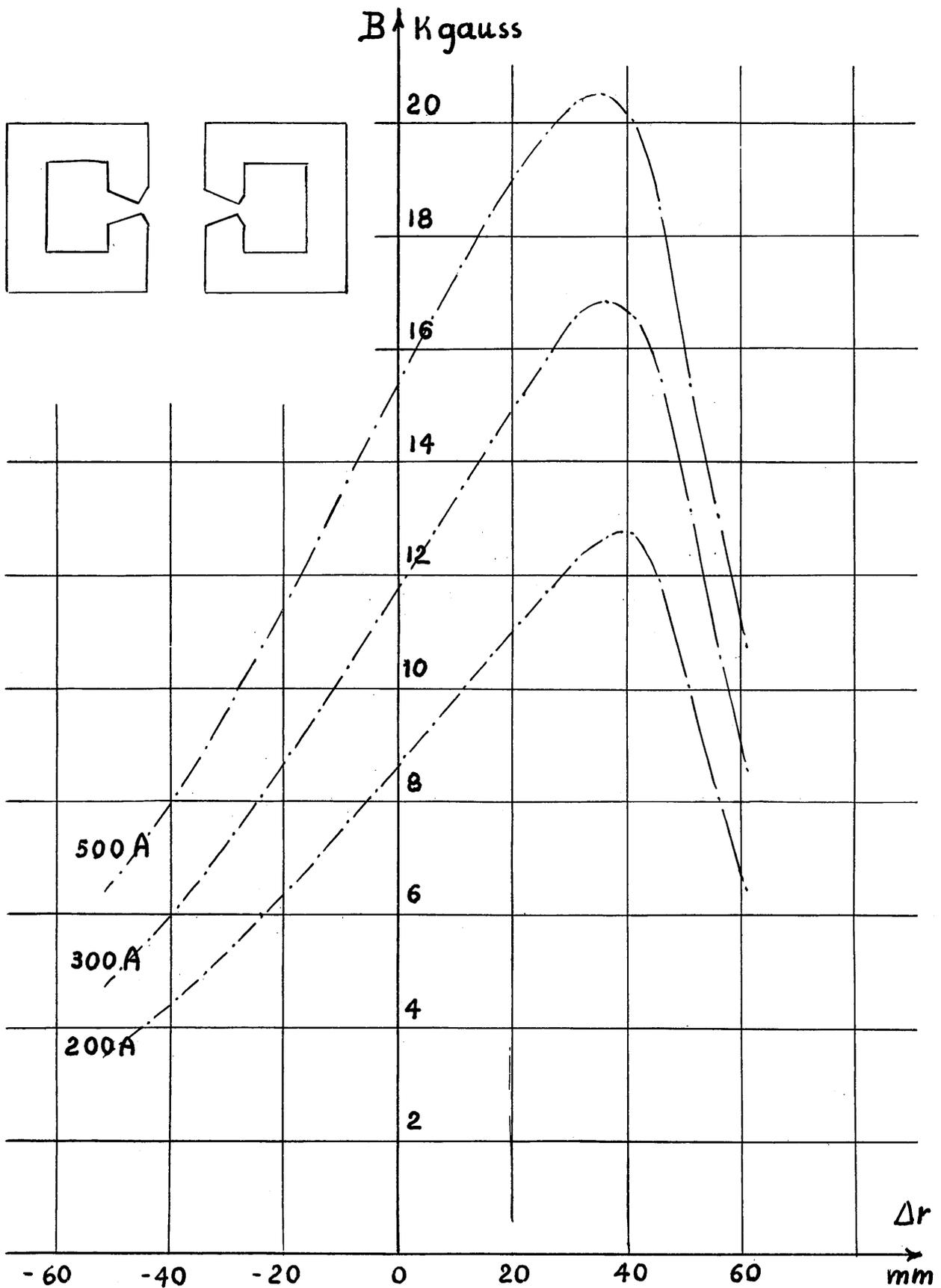


Champ en fonction du courant
(plan median geometrique)



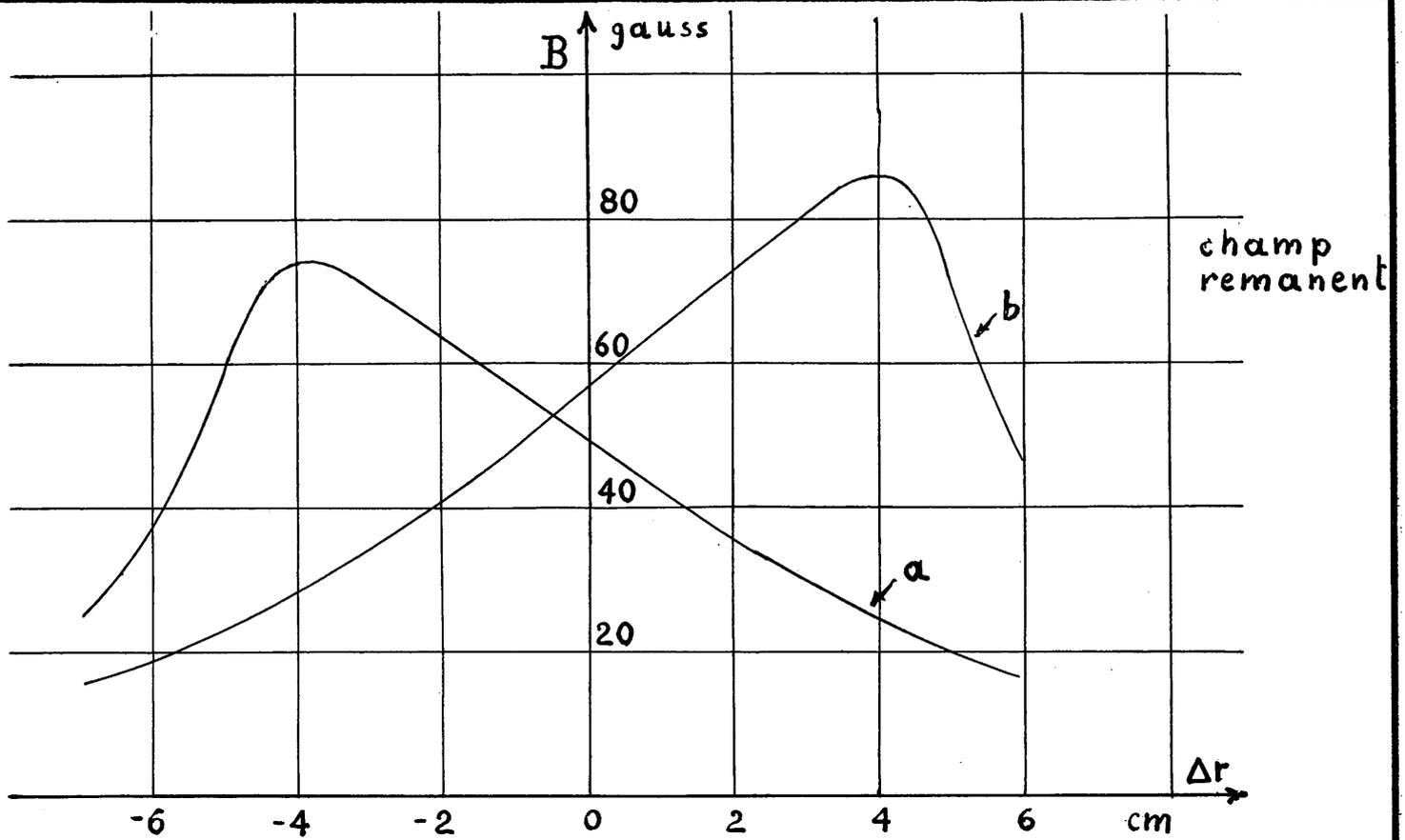
CHAMP EN FONCTION DE LA POSITION RADIALE

(plan median geometrique)



CERN PS MM5 fig 4

deplacement radial
(positif vers champ croissant)



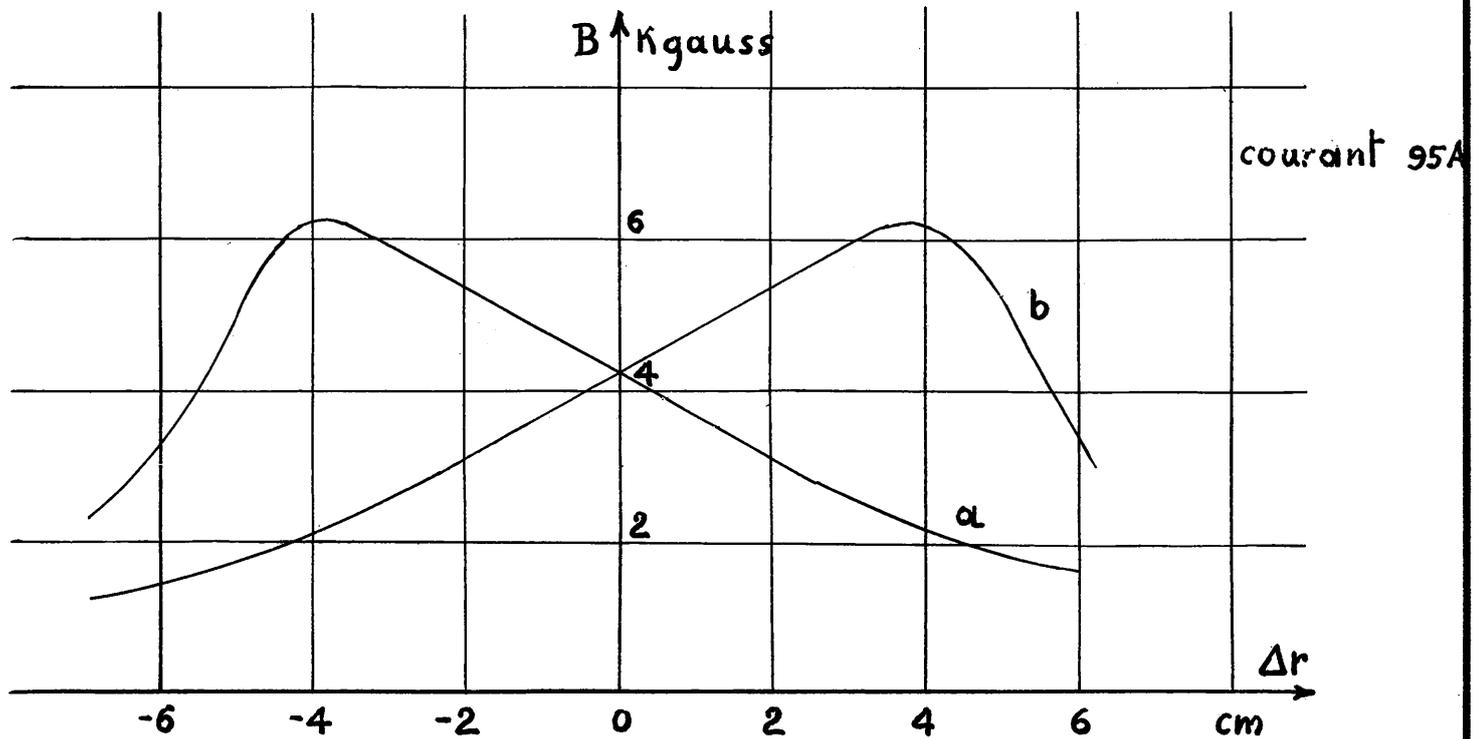
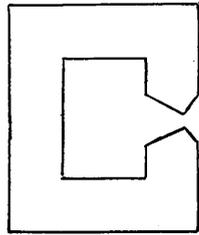
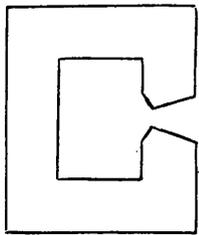
tôle 7

tôle 17

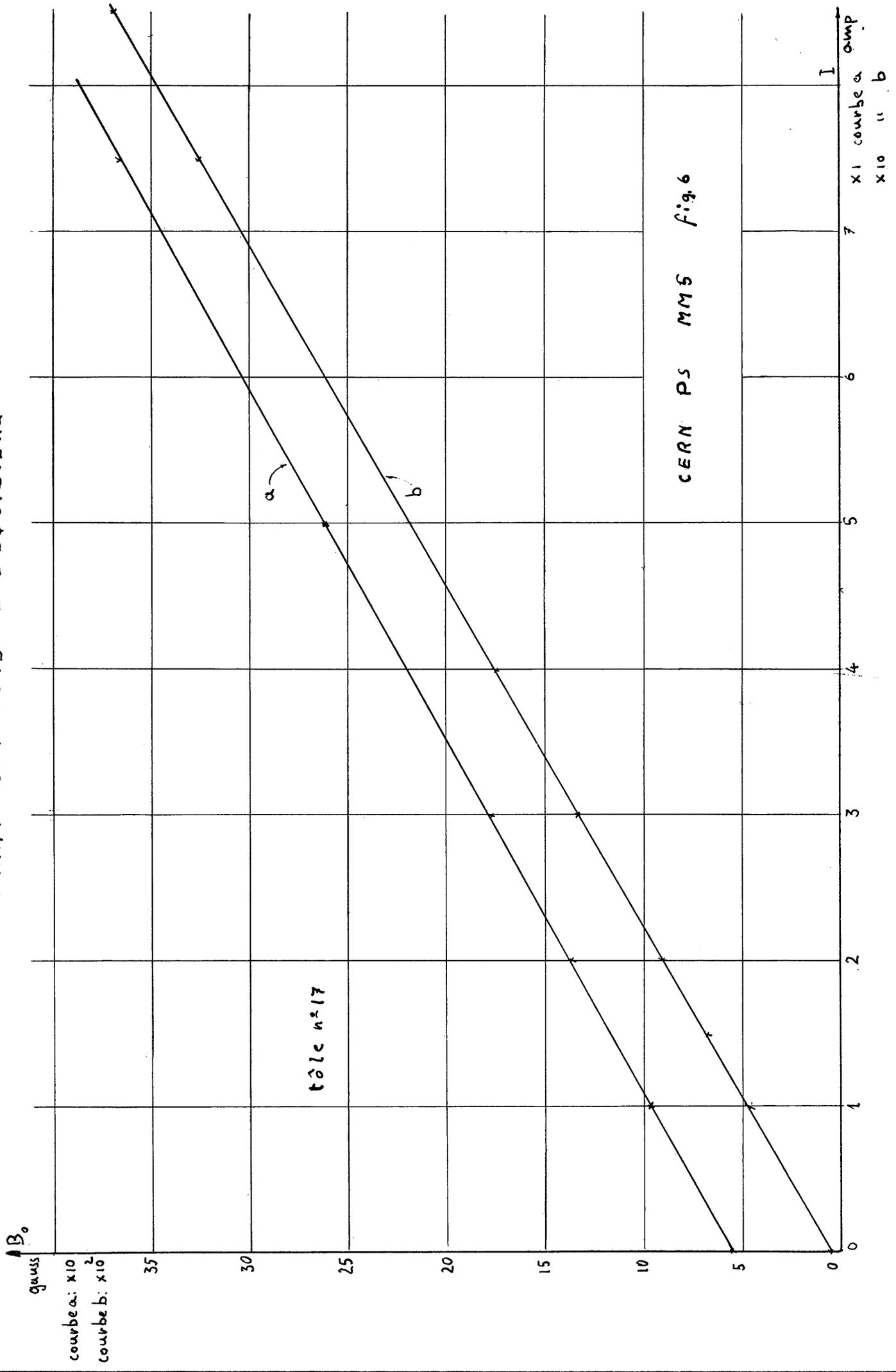
CHAMP DANS LE PLAN MEDIAN

courbes a : tôle 7

courbes b : tôle 17



CHAMP SUR L'ORBITE D'EQUILIBRE



CERN PS MMS Fig.6

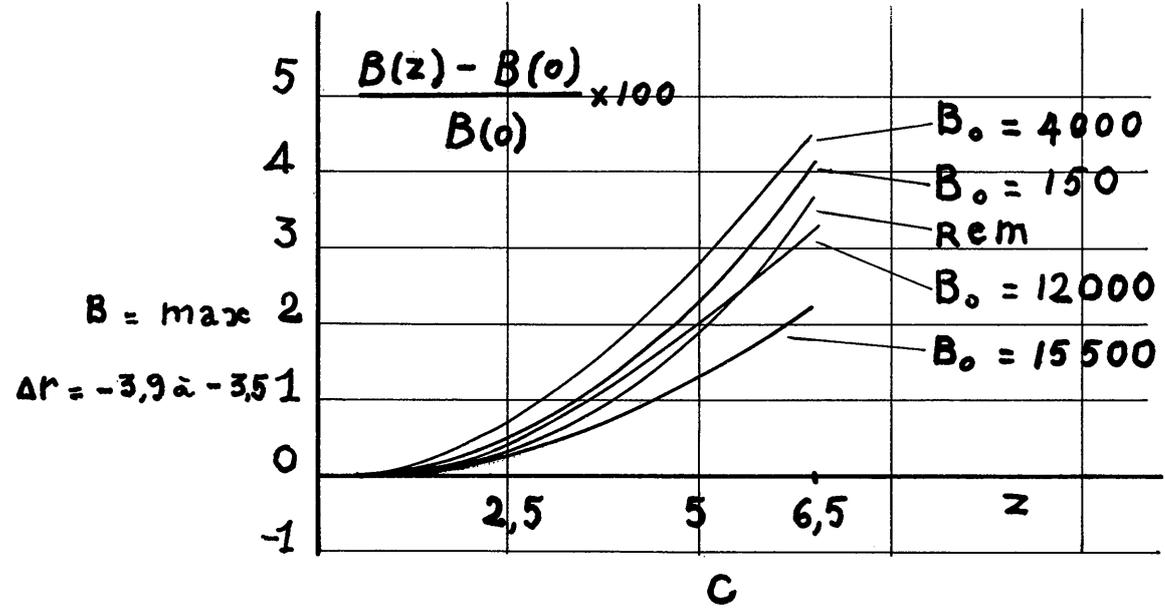
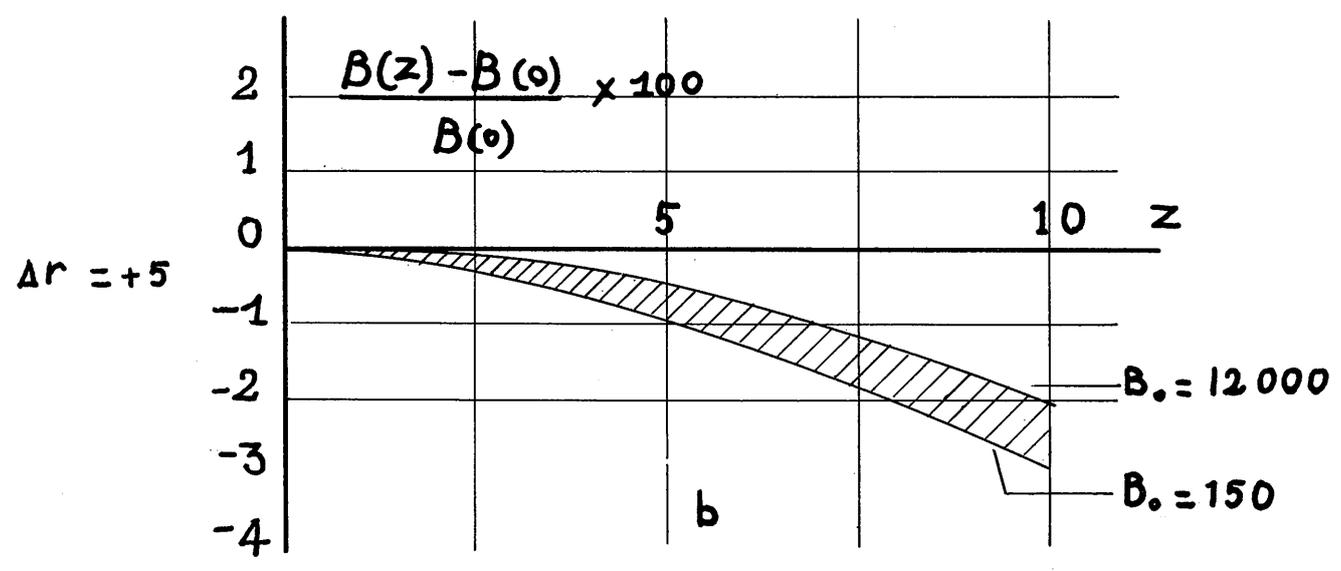
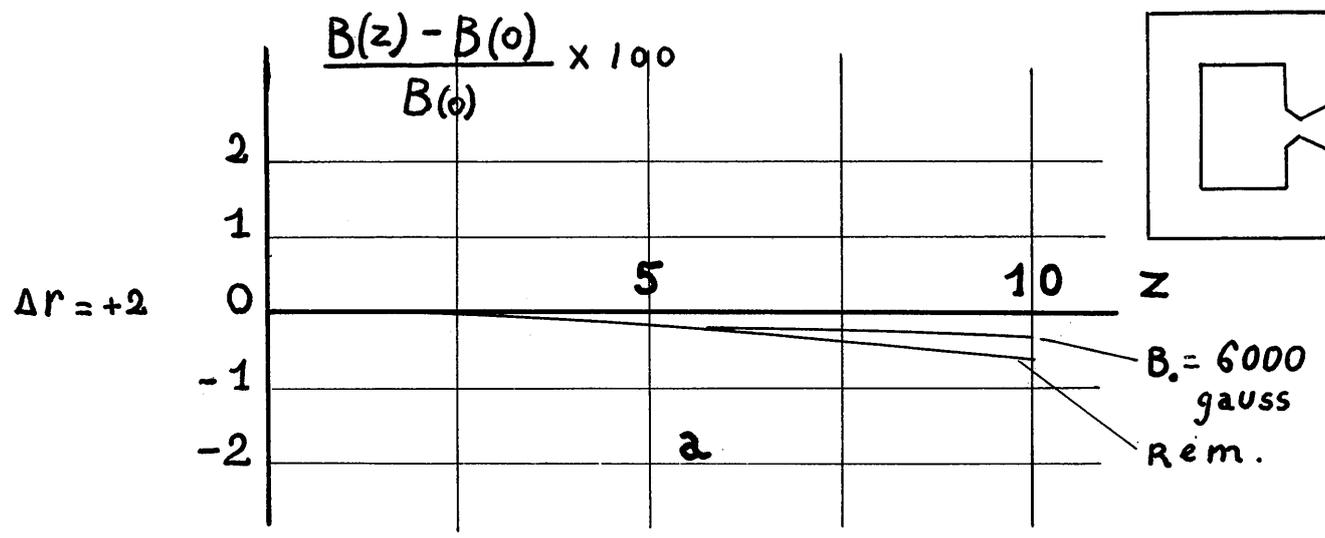
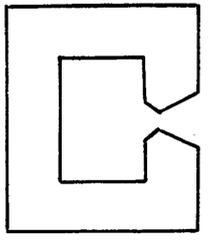
tôle n°17

B_0
gauss

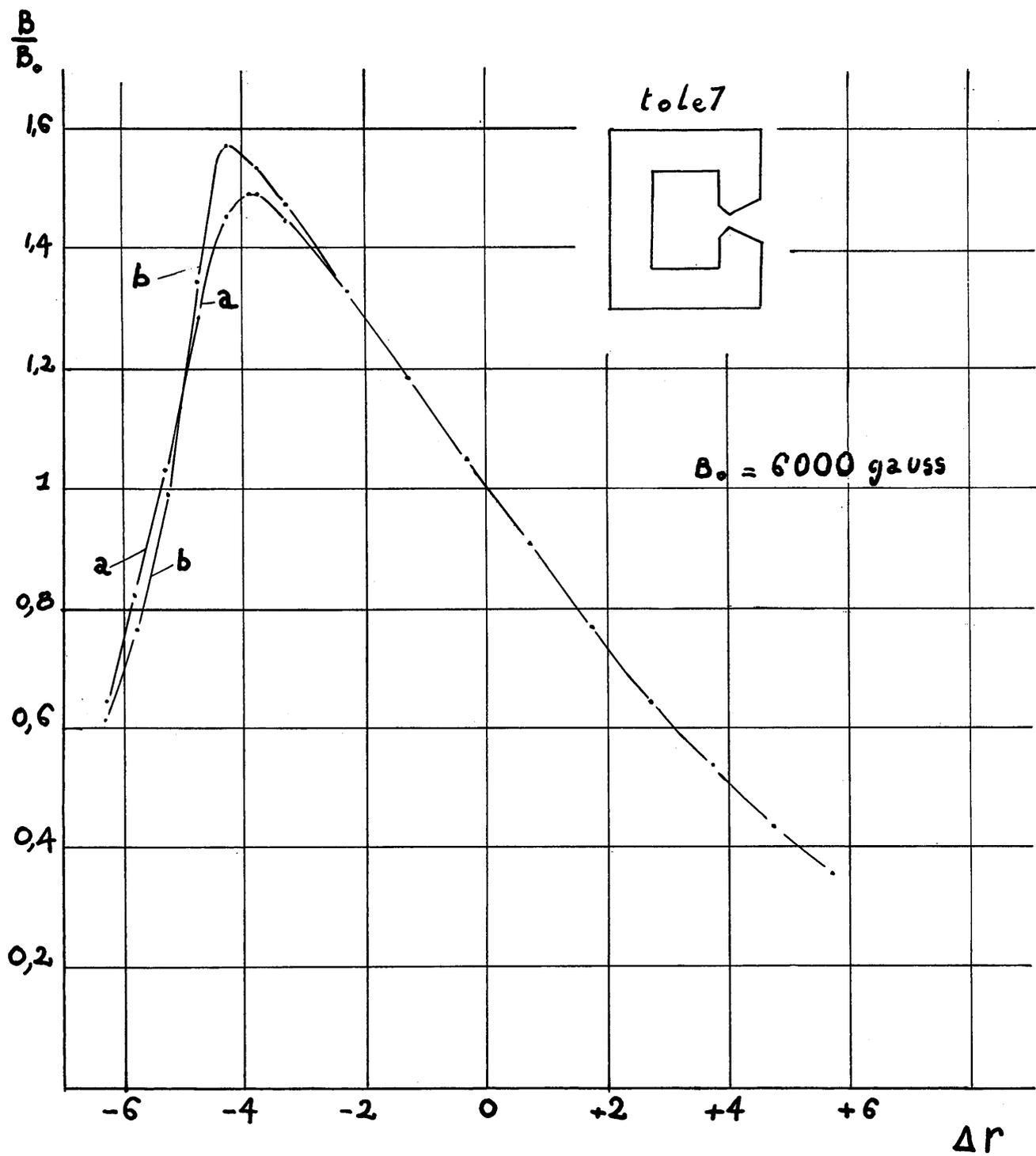
courbe a: $\times 10$
courbe b: $\times 10^2$

I
amp
courbe a
" b
 $\times 10$
 $\times 10$

tole7



variation de B
dans la direction verticale



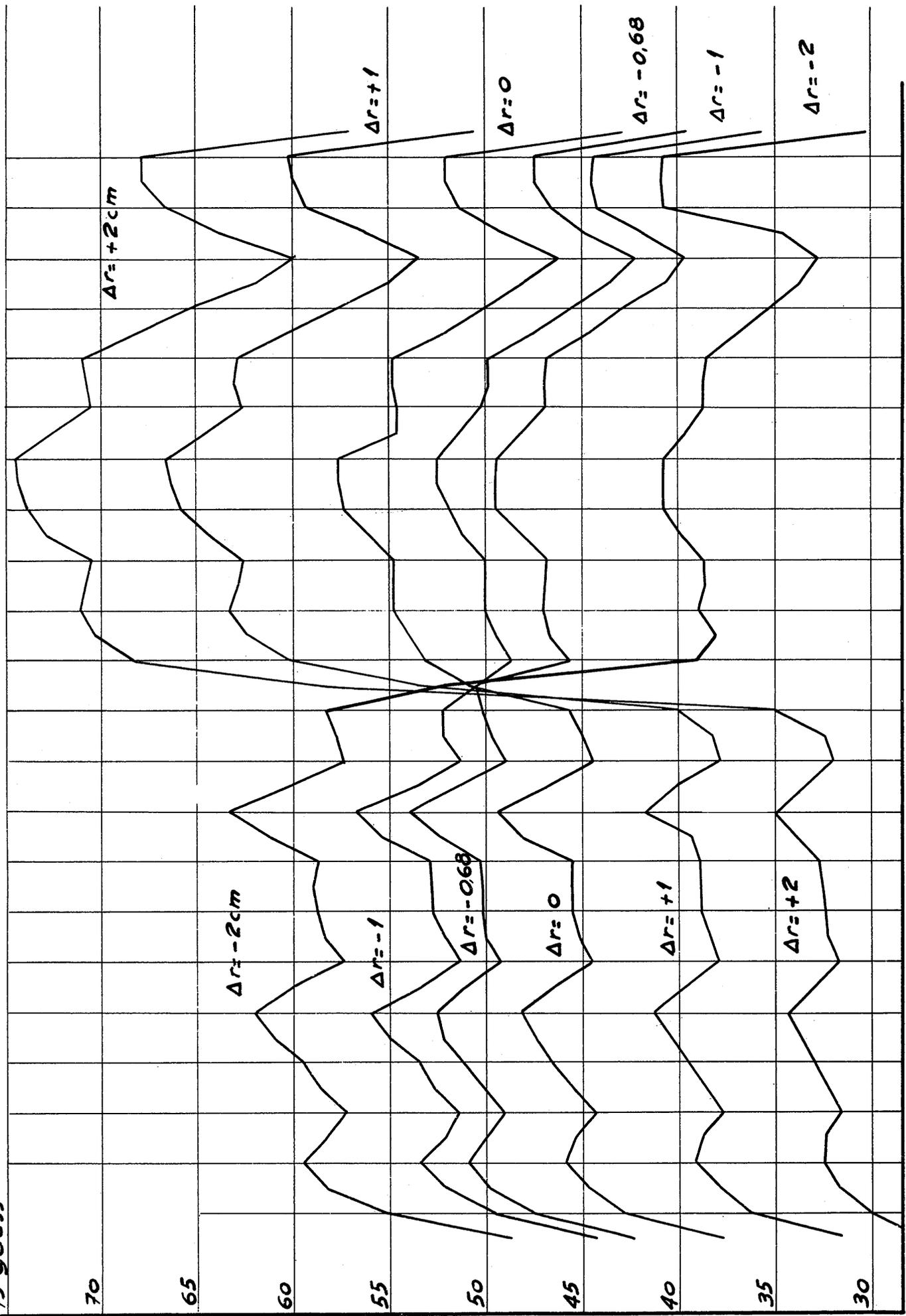
$B/B_0 = f(\Delta r)$
 courbe a $z=0$
 " b $z = \pm 6$ mm

CERN PS MM5

fig: 8

champ rémanent le long de l'aimant

75 gauss

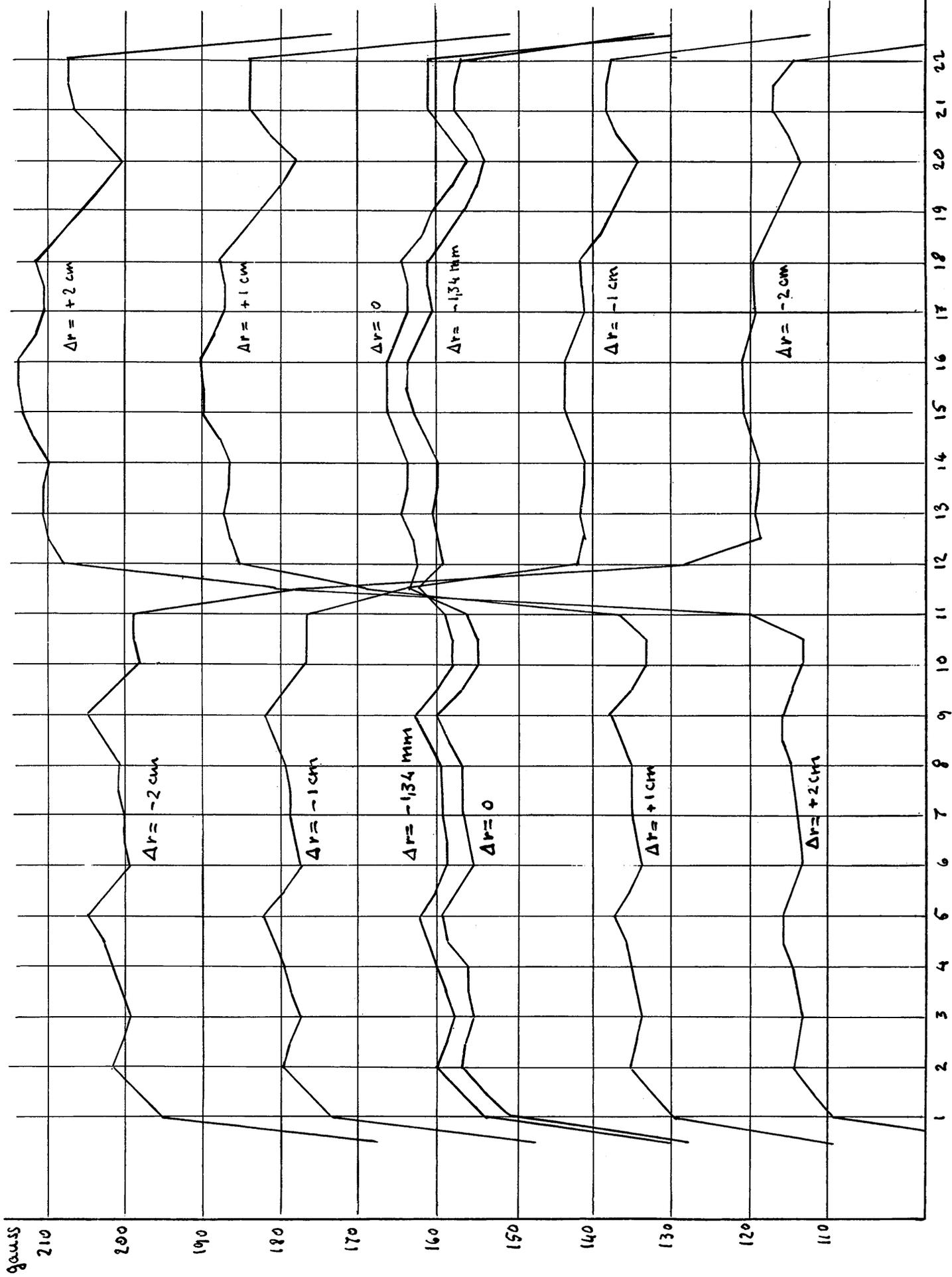


n° tôle

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22

Fig. 9

CHAMP MAGNETIQUE POUR I=2,0 A



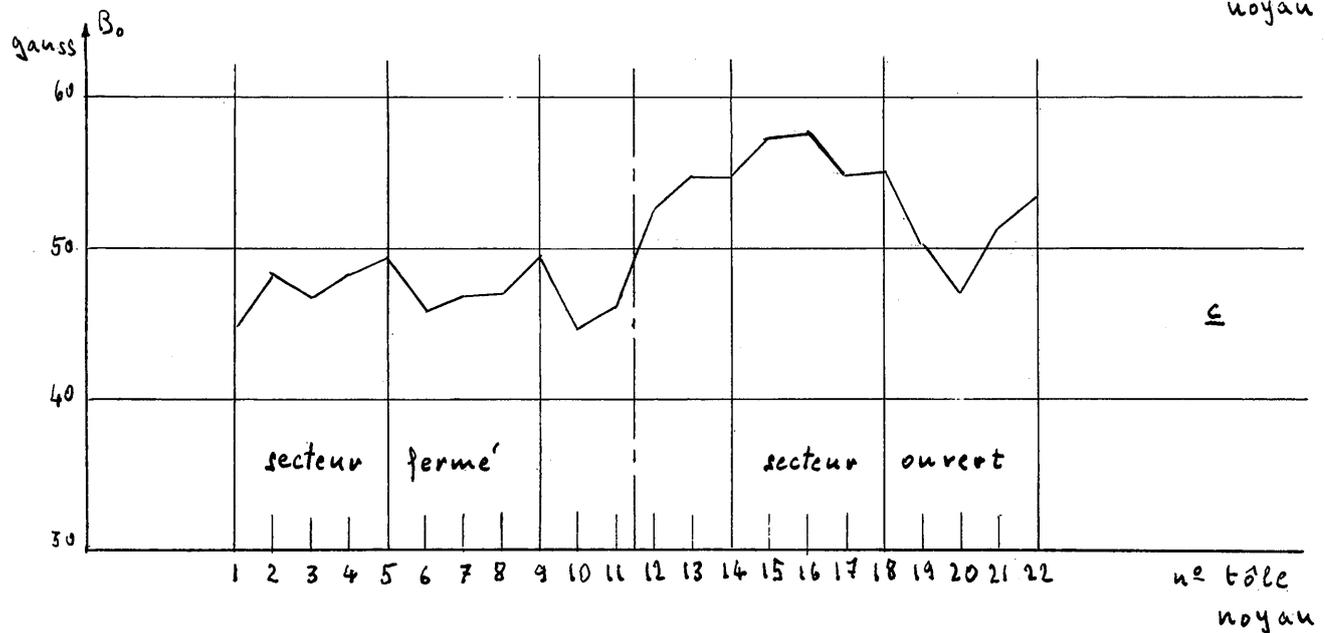
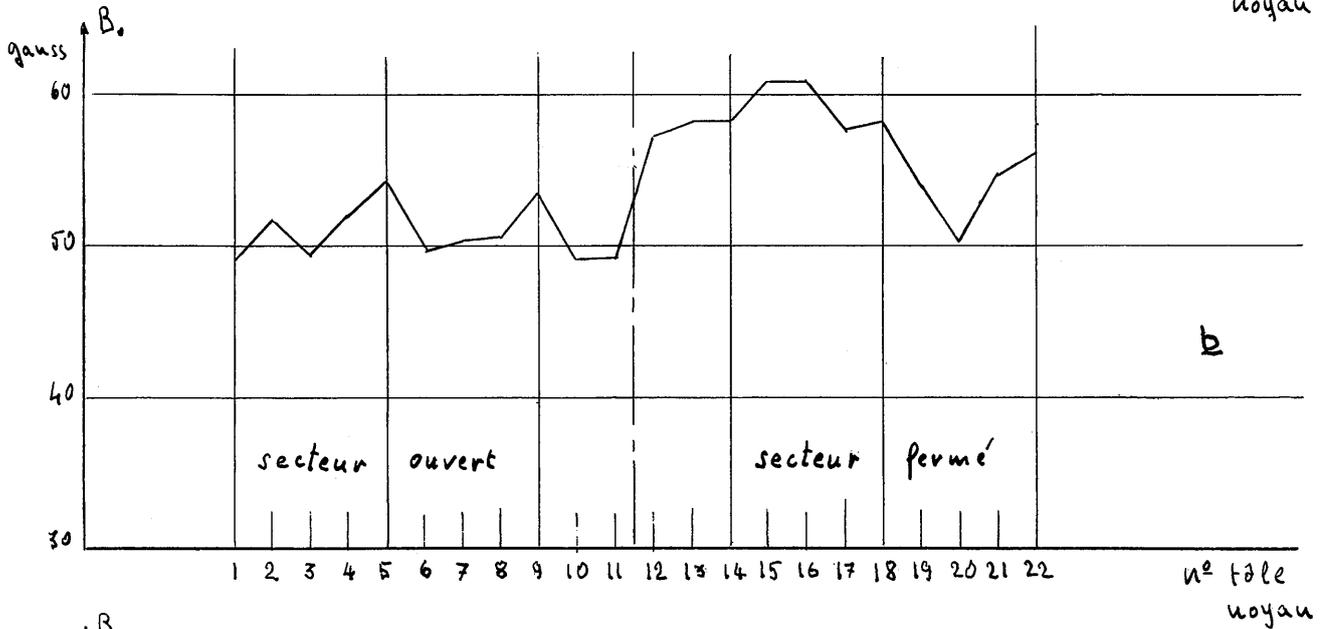
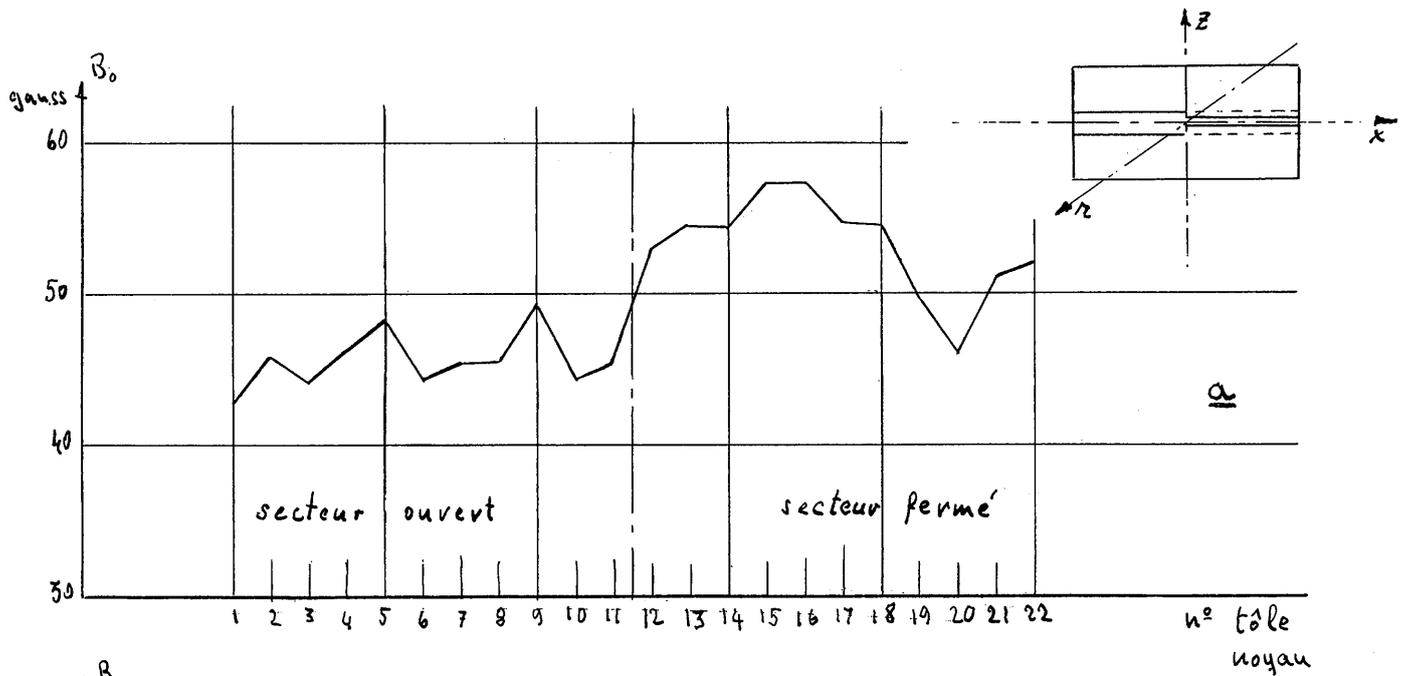
CERN PS

MMS

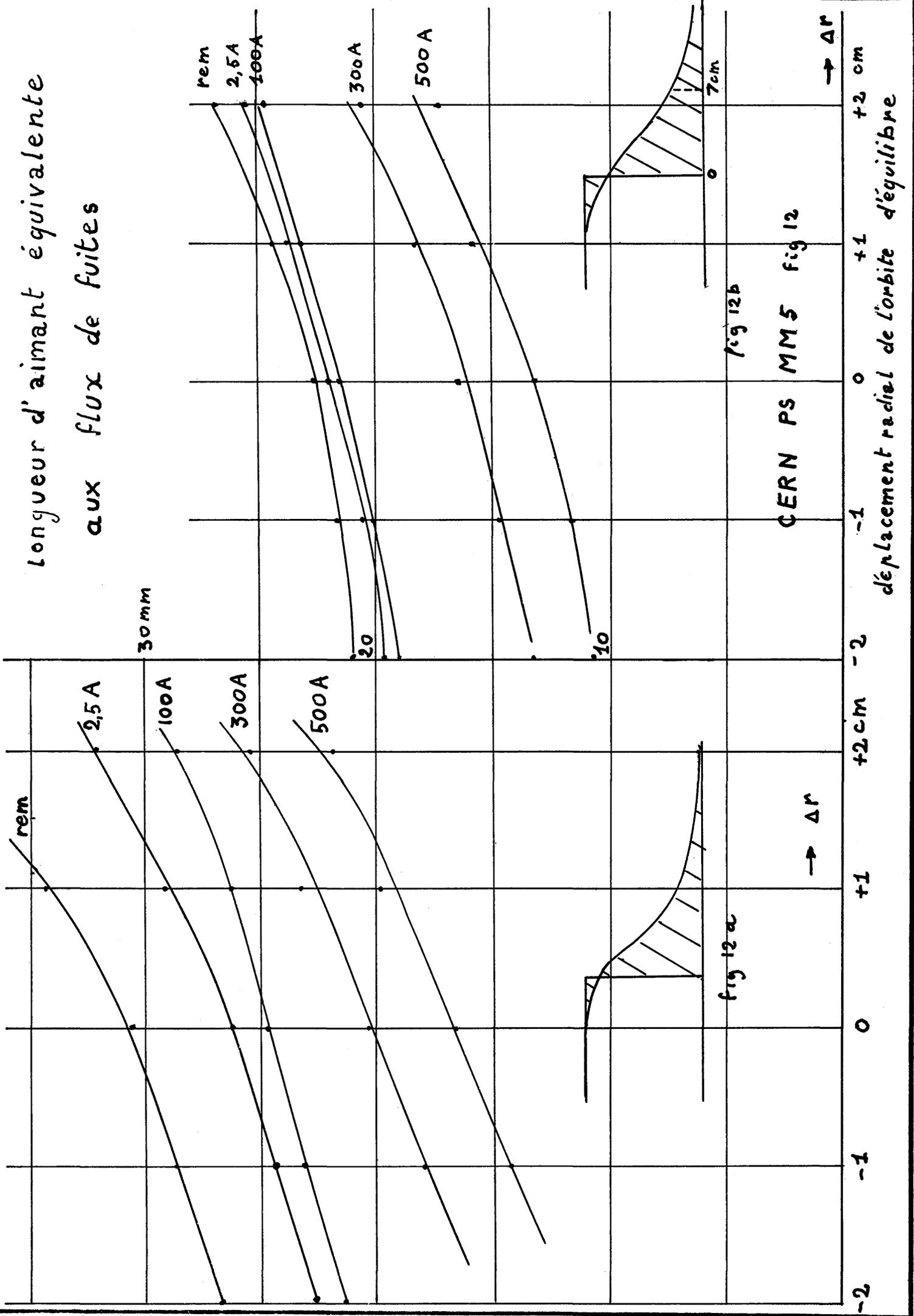
fig. 10

N° tube

CHAMP REMANENT SUR L'ORBIT D'EQUILIBRE

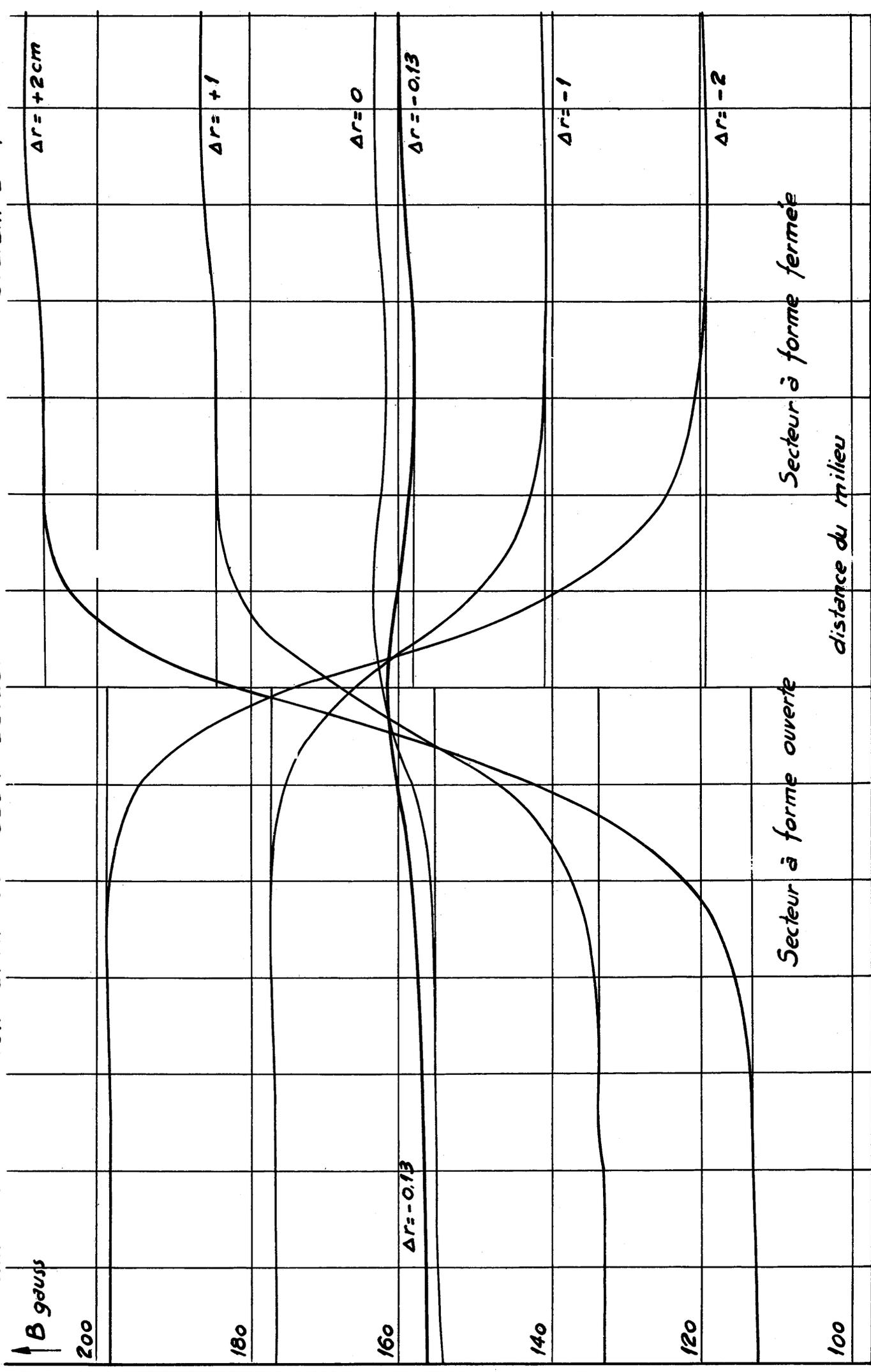


longueur d'aimant équivalente aux flux de fuites



CHAMP DE TRANSITION ENTR LES DEUX SECTEURS

Courant $I = 2.5 A$



7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 cm

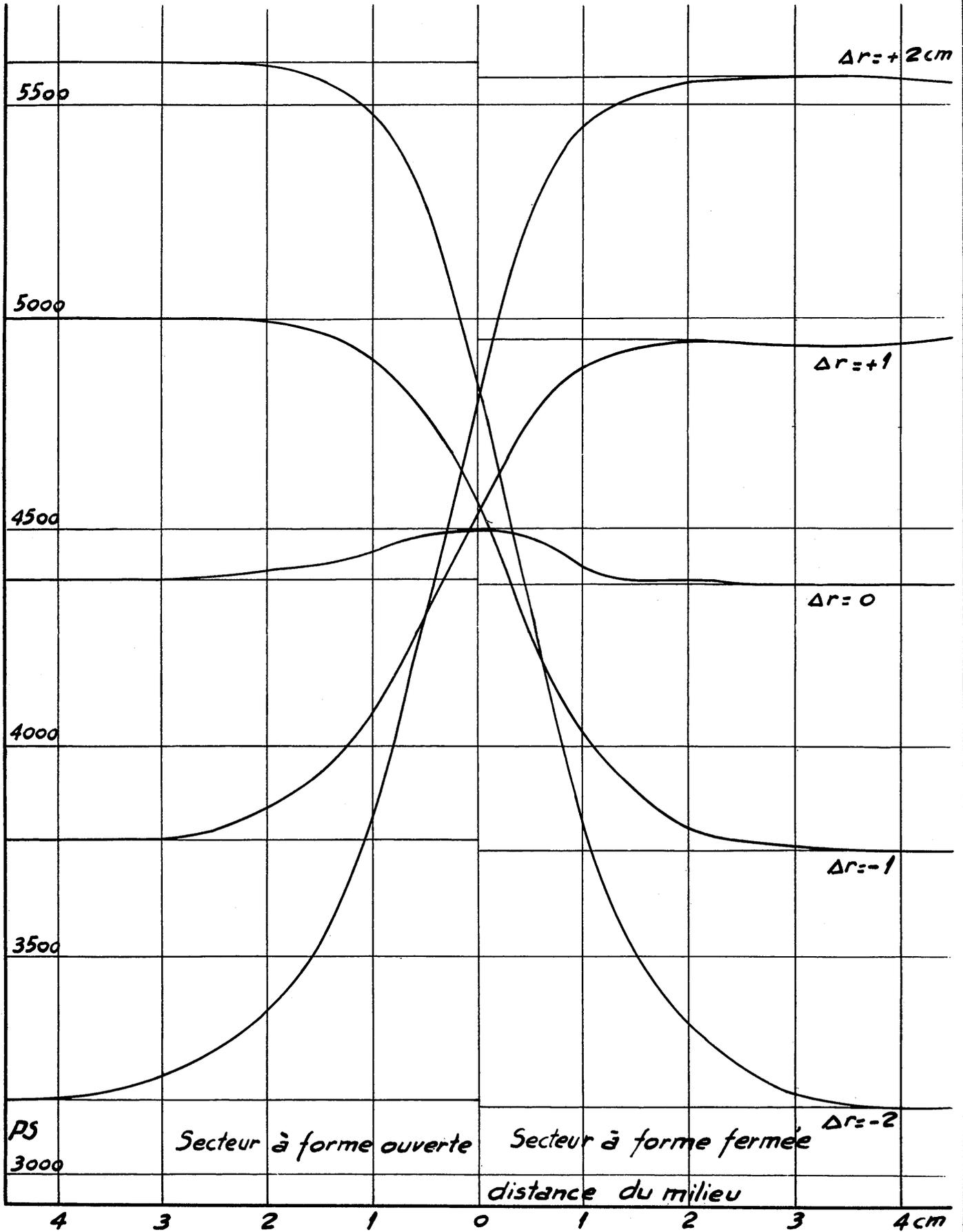
CERN PS MM5

Fig. 13

CHAMP DE TRANSITION ENTRE LES DEUX SECTEURS

\uparrow B gauss

courant $I = 100 A$



CERN - PS
MM5 3000

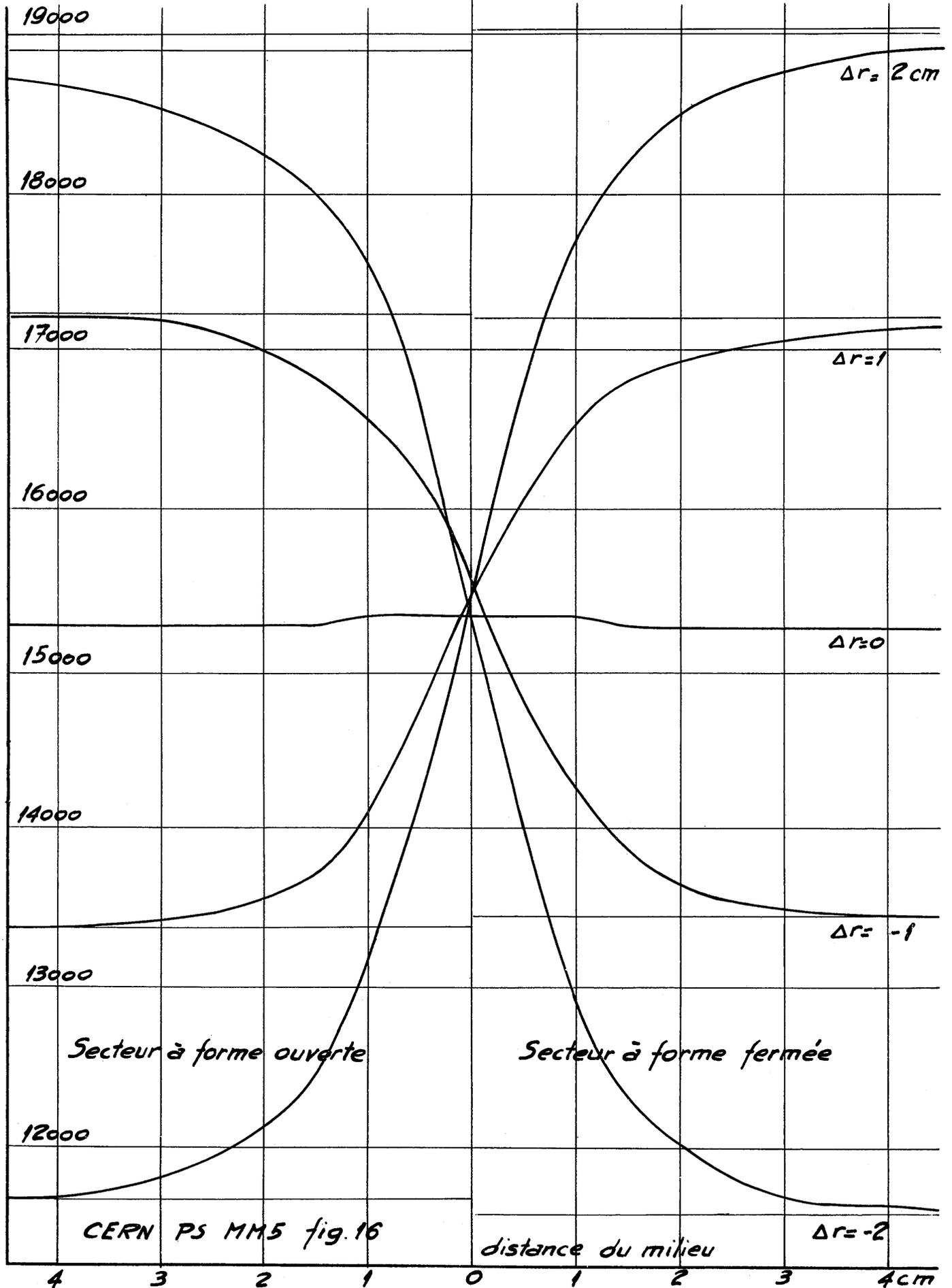
Fig 14

distance du milieu

4 cm

B CHAMP ENTRE LES DEUX SECTEURS
gauss

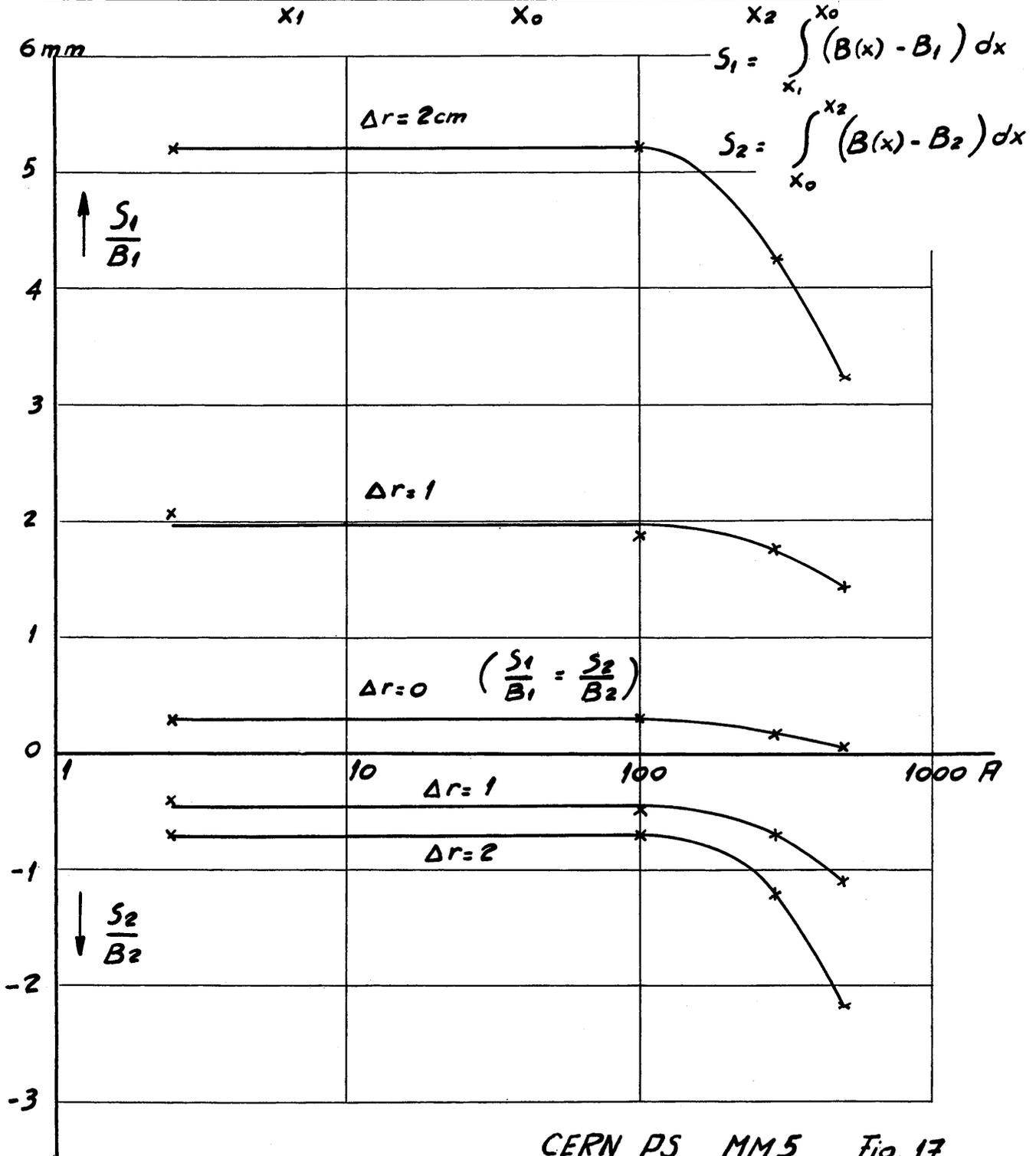
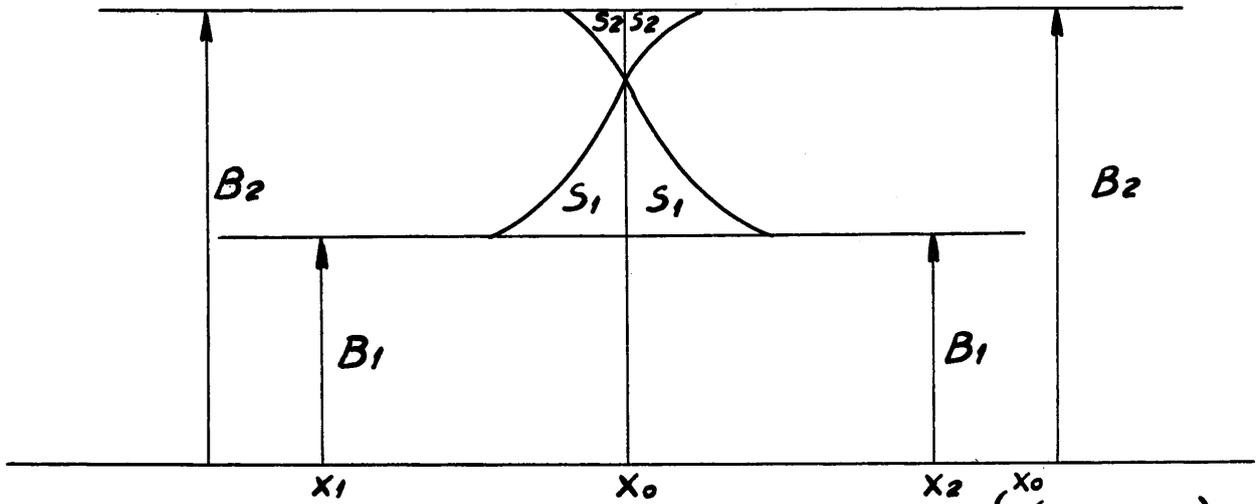
courant $I=500A$



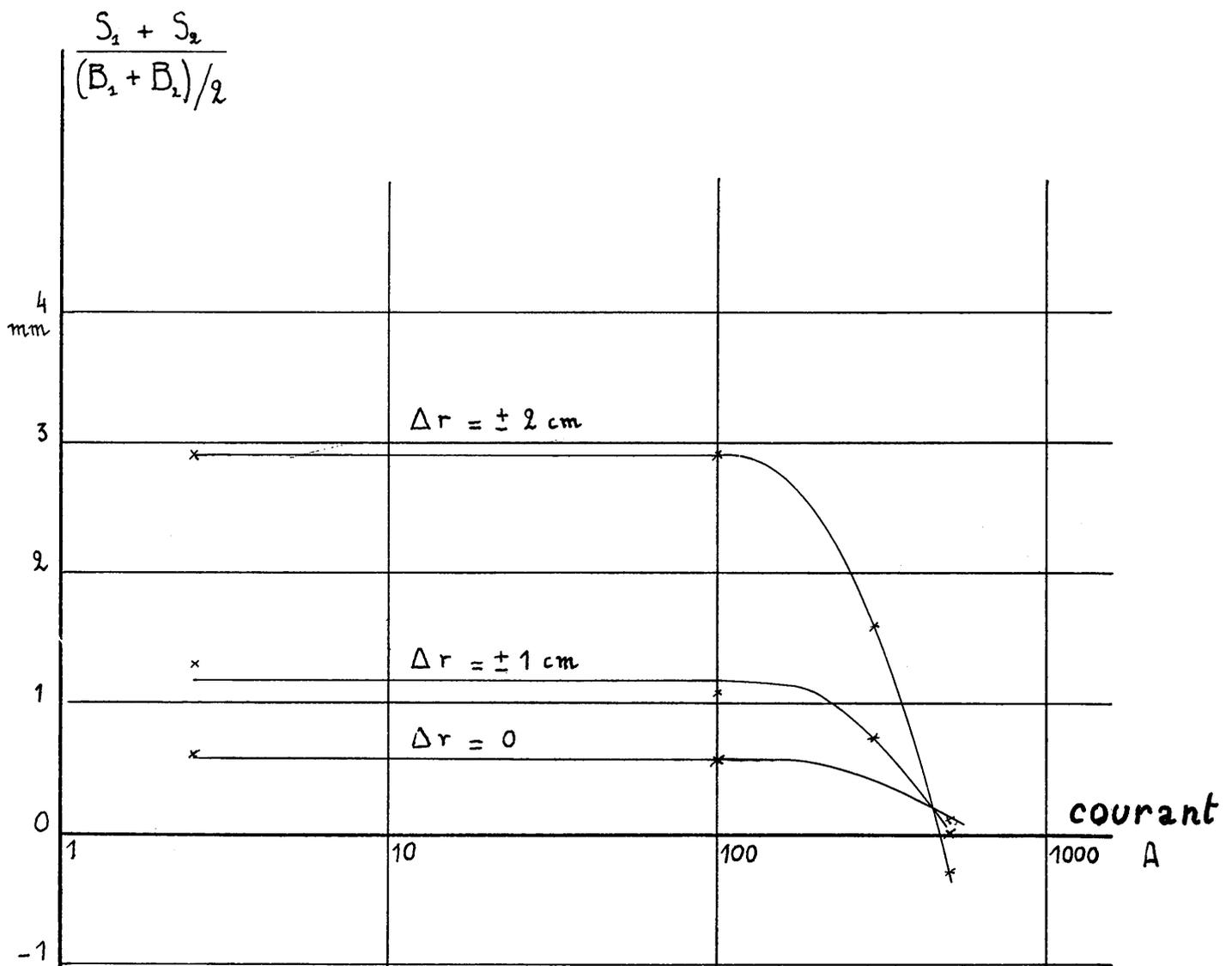
CERN PS MM5 fig.16

distance du milieu

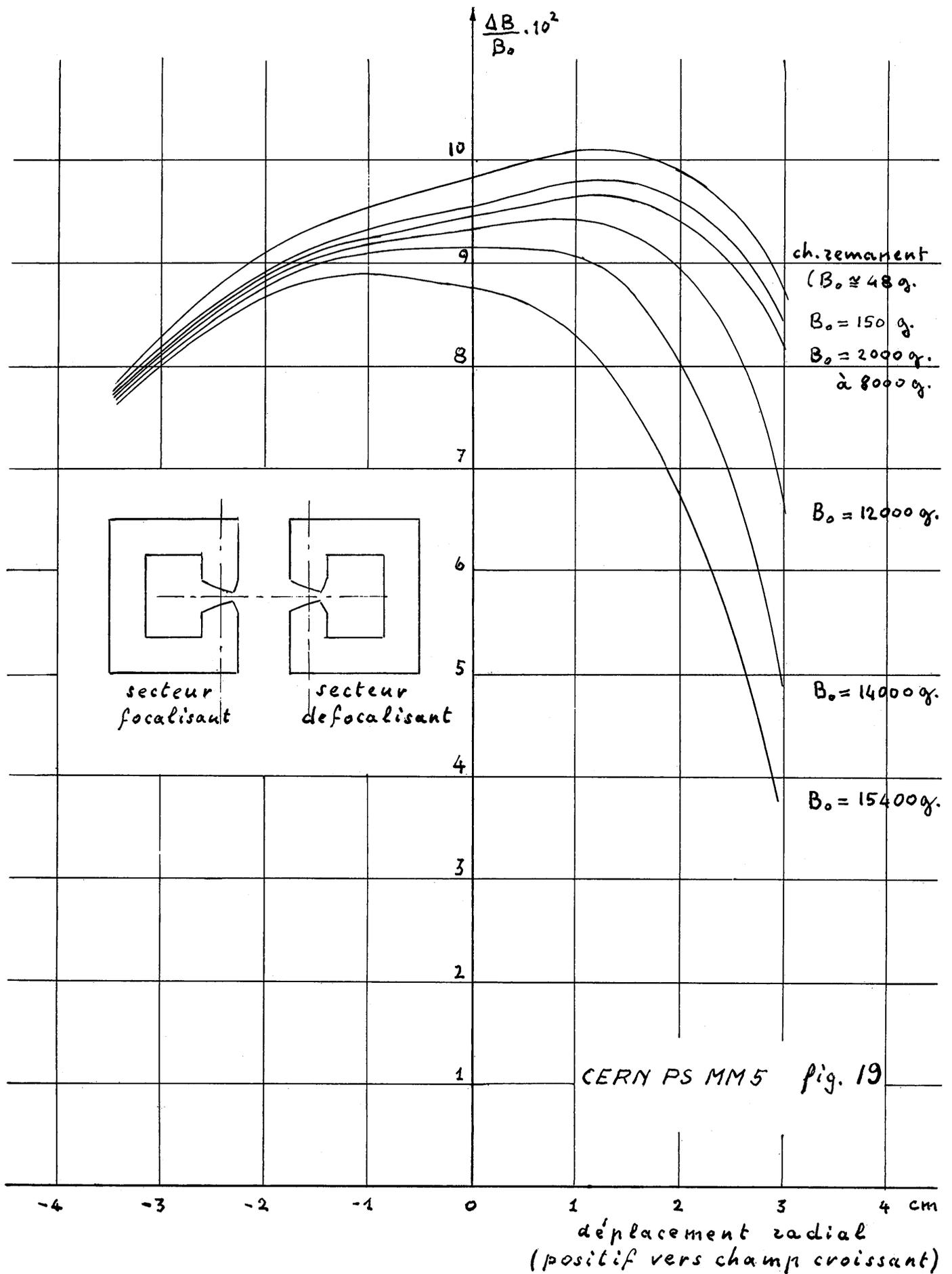
$\Delta r = -2$



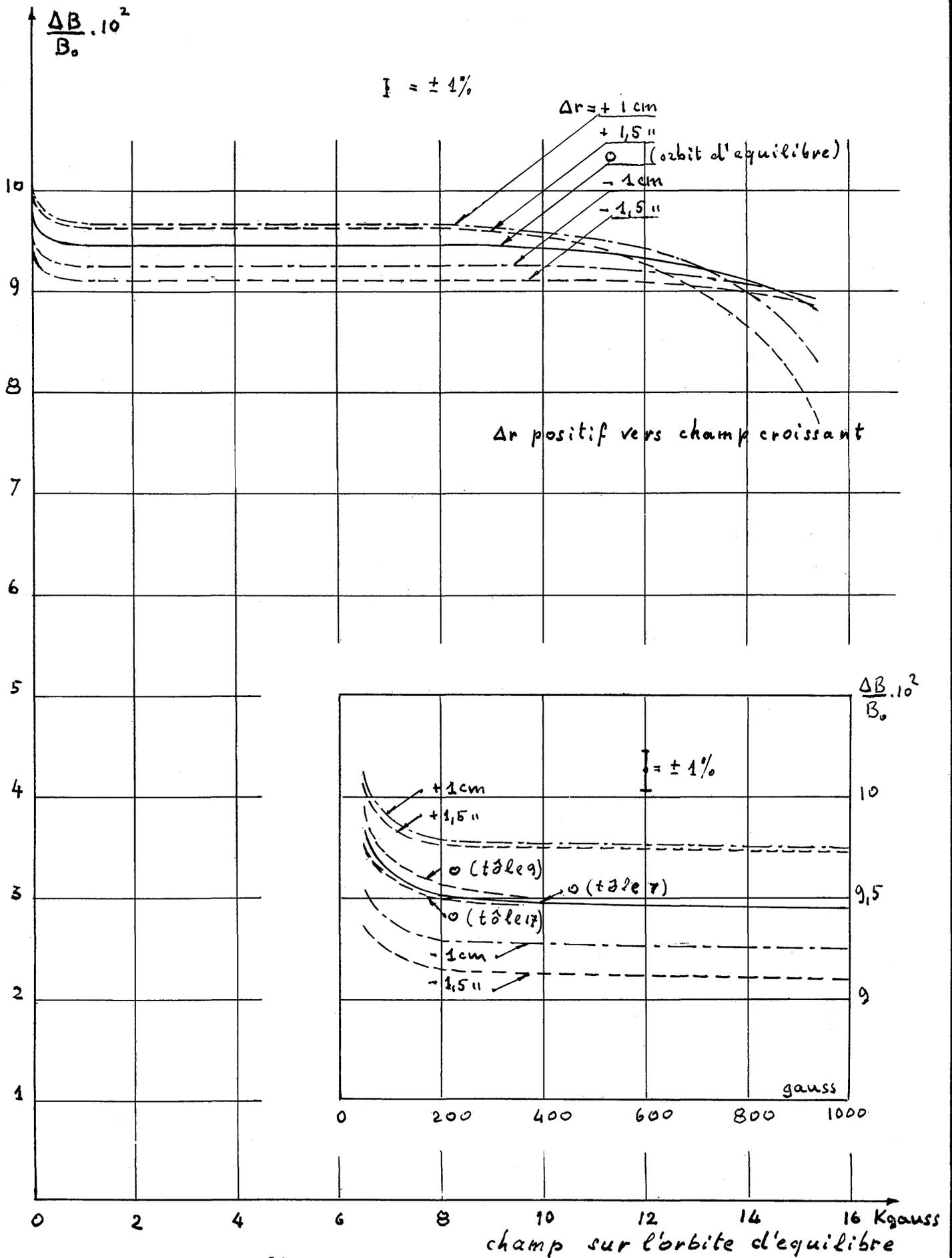
longueur equivalente de l'aimant correspondant
 au champ entre les deux sections



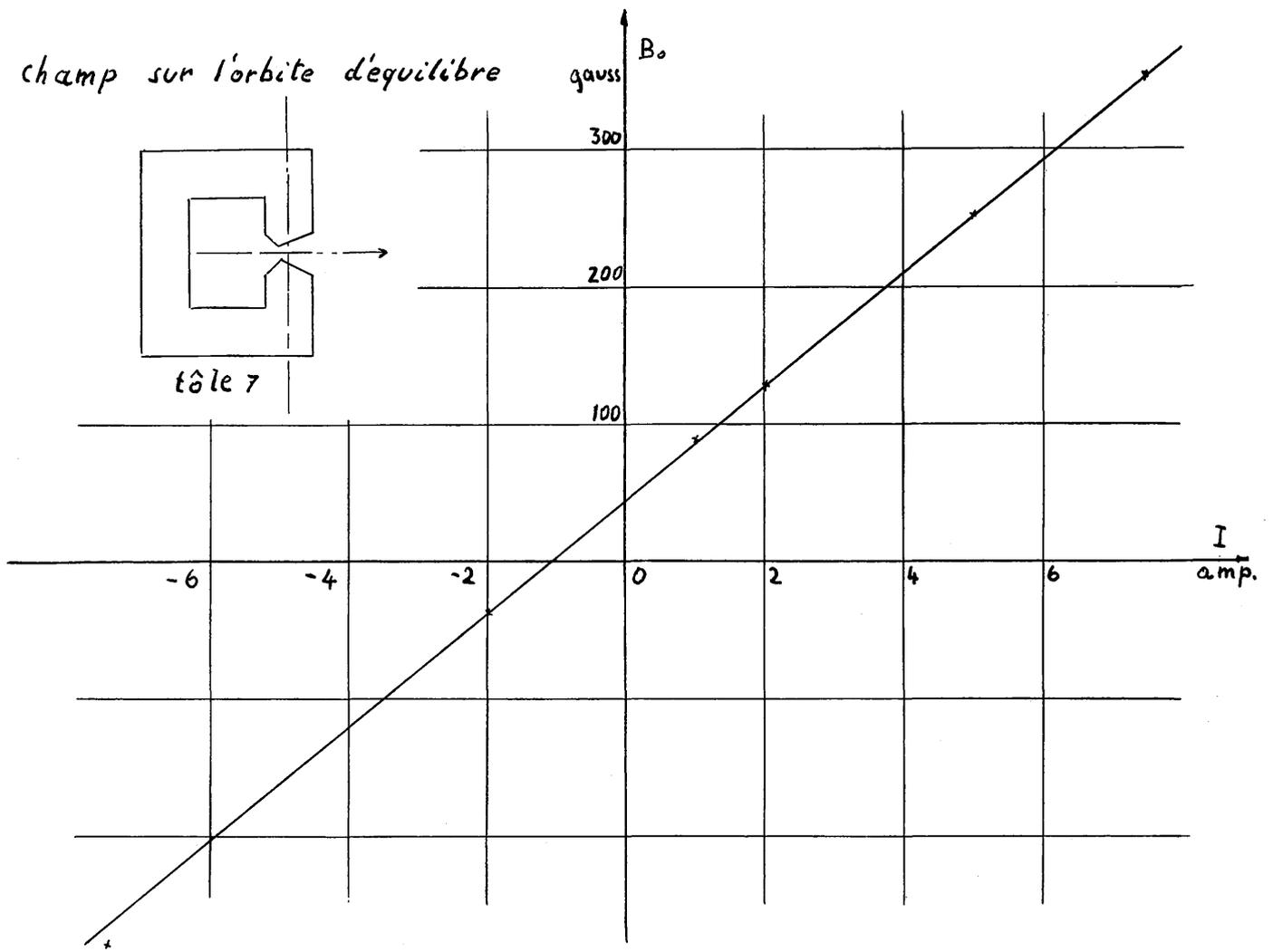
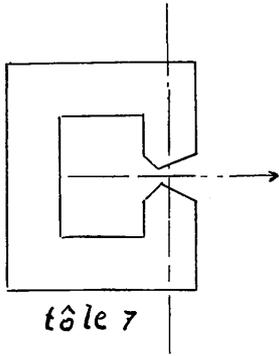
$\frac{\Delta B}{B_0}$ dans le plan median geometrique



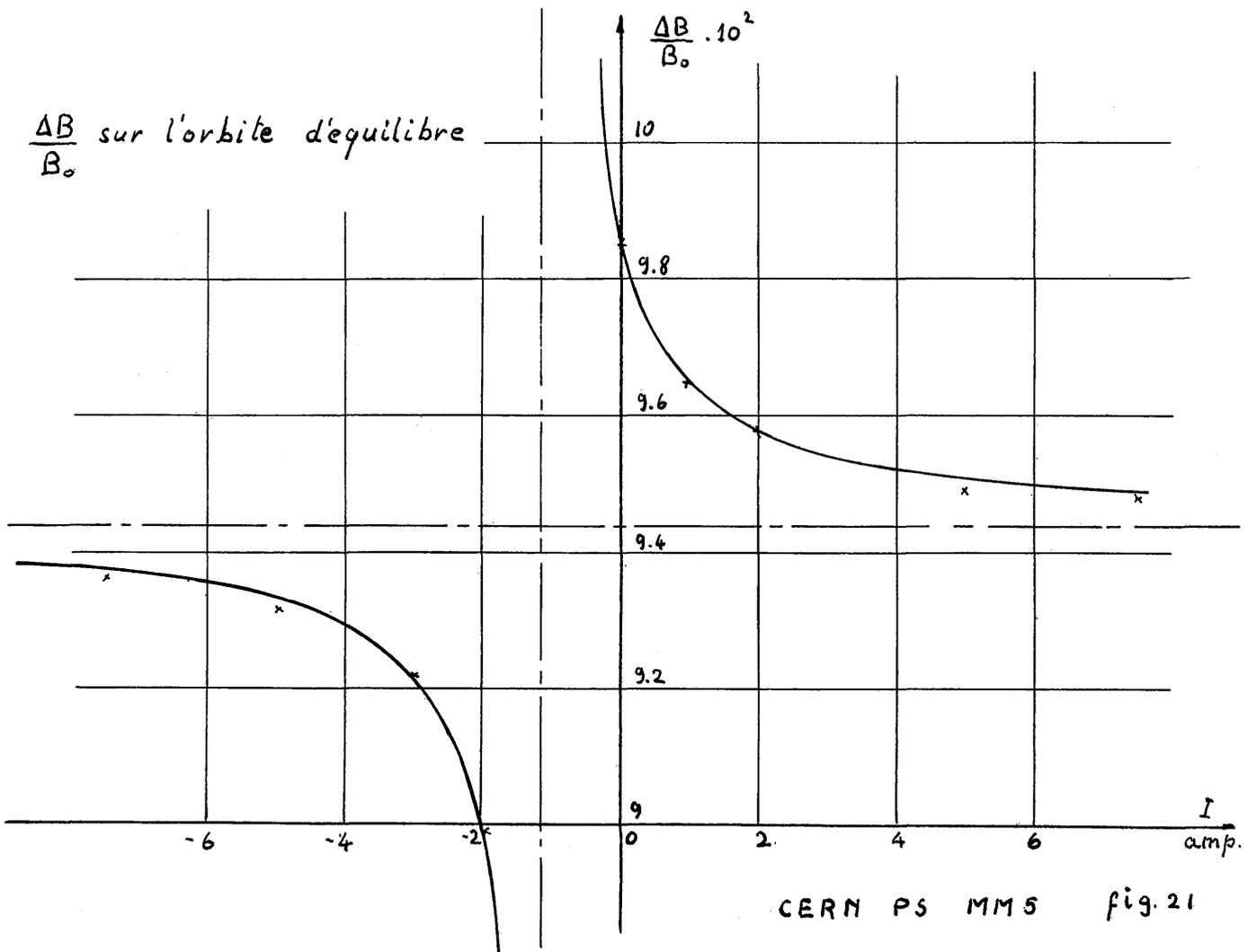
$\frac{\Delta B}{B_0}$ dans le plan median geometrique.



champ sur l'orbite d'équilibre

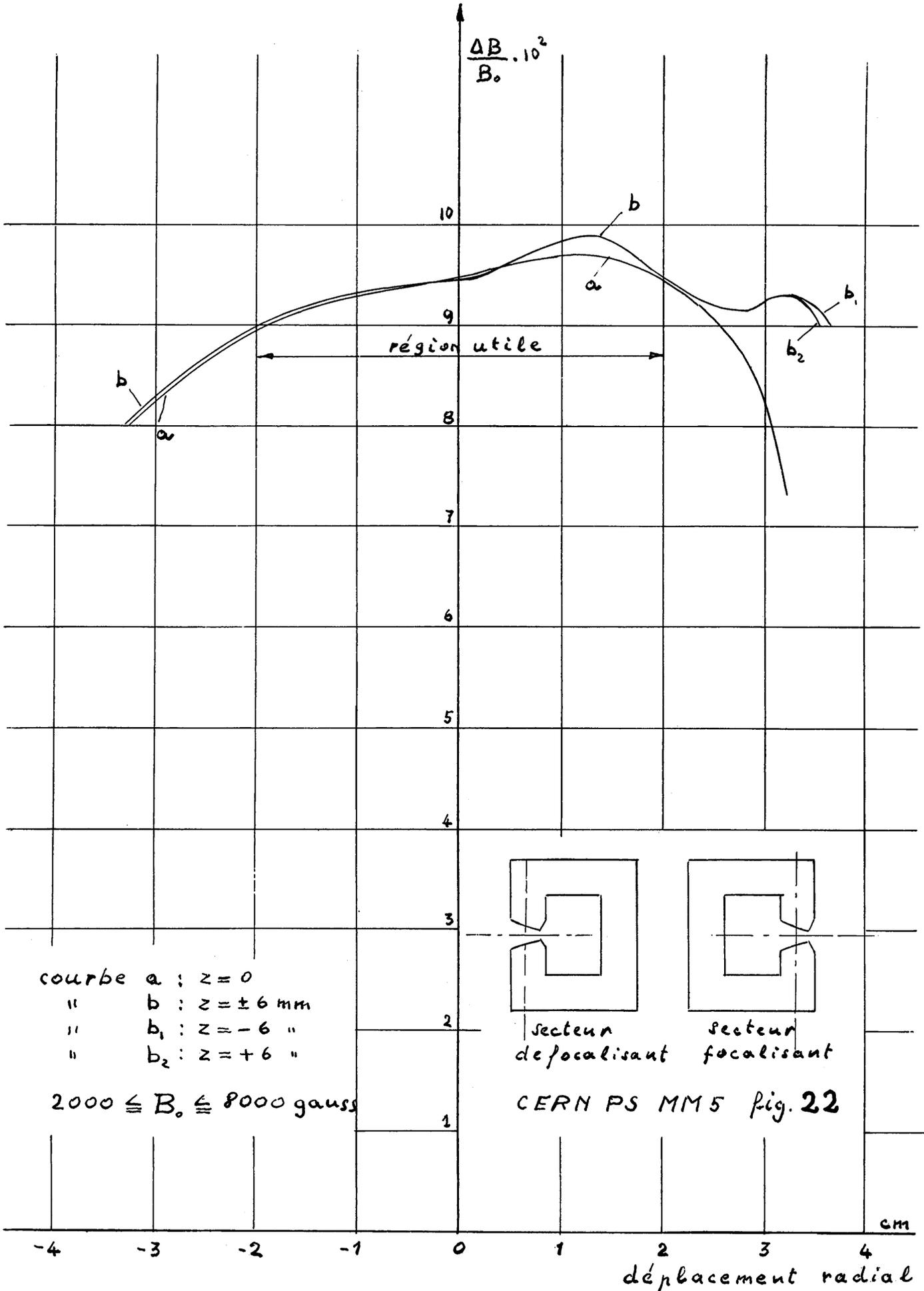


$\frac{\Delta B}{B_0}$ sur l'orbite d'équilibre



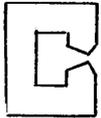
$\frac{\Delta B}{B_0}$ en fonction du déplacement radial

pour différentes positions verticales

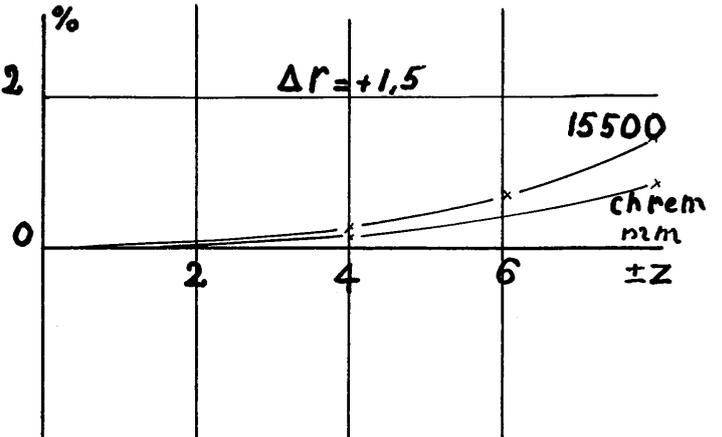
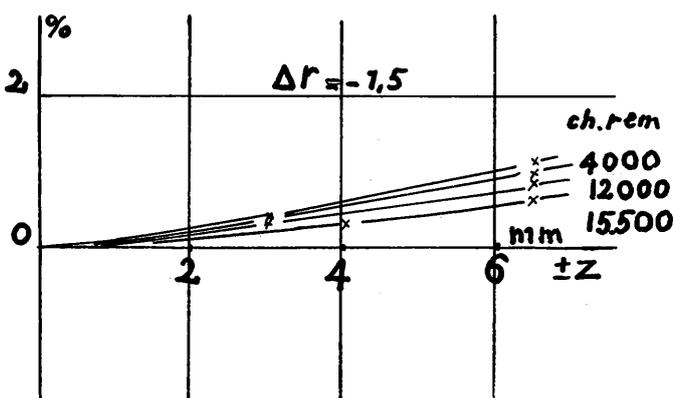
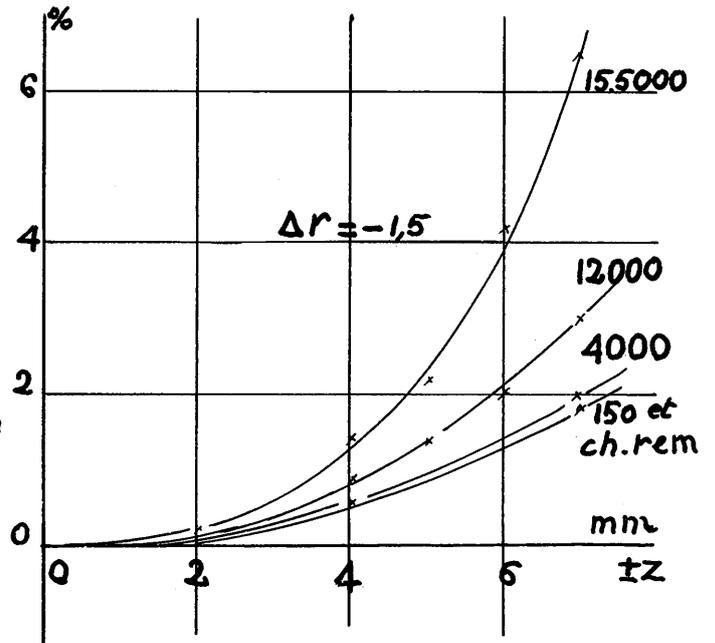
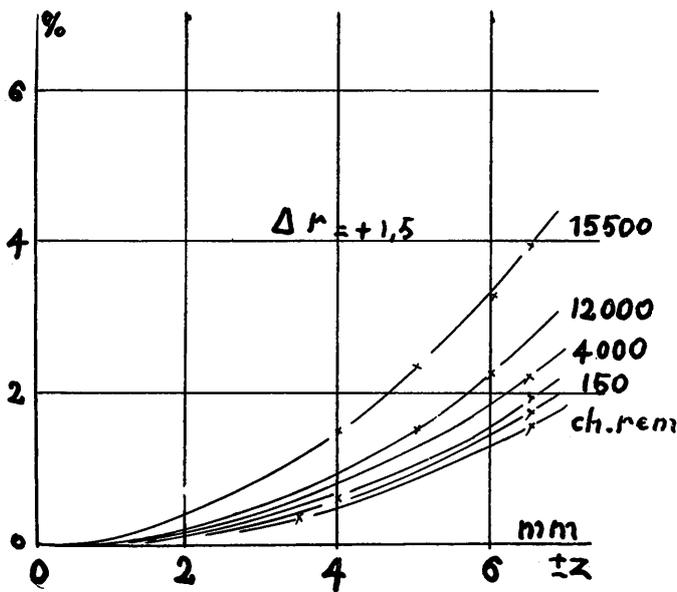
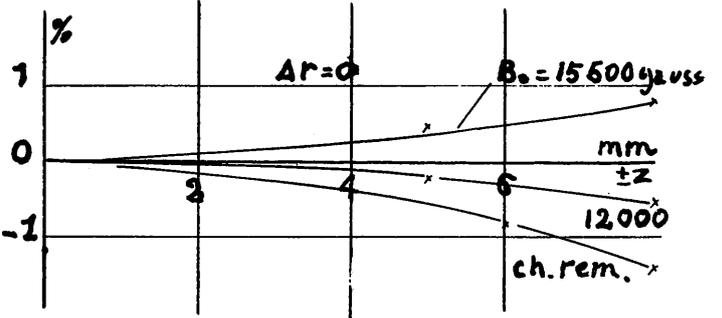
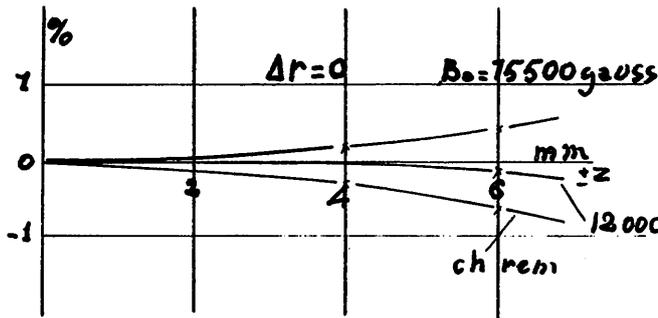
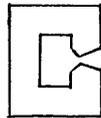


variation de n en fonction de la position verticale

tôle 16



tôle 7

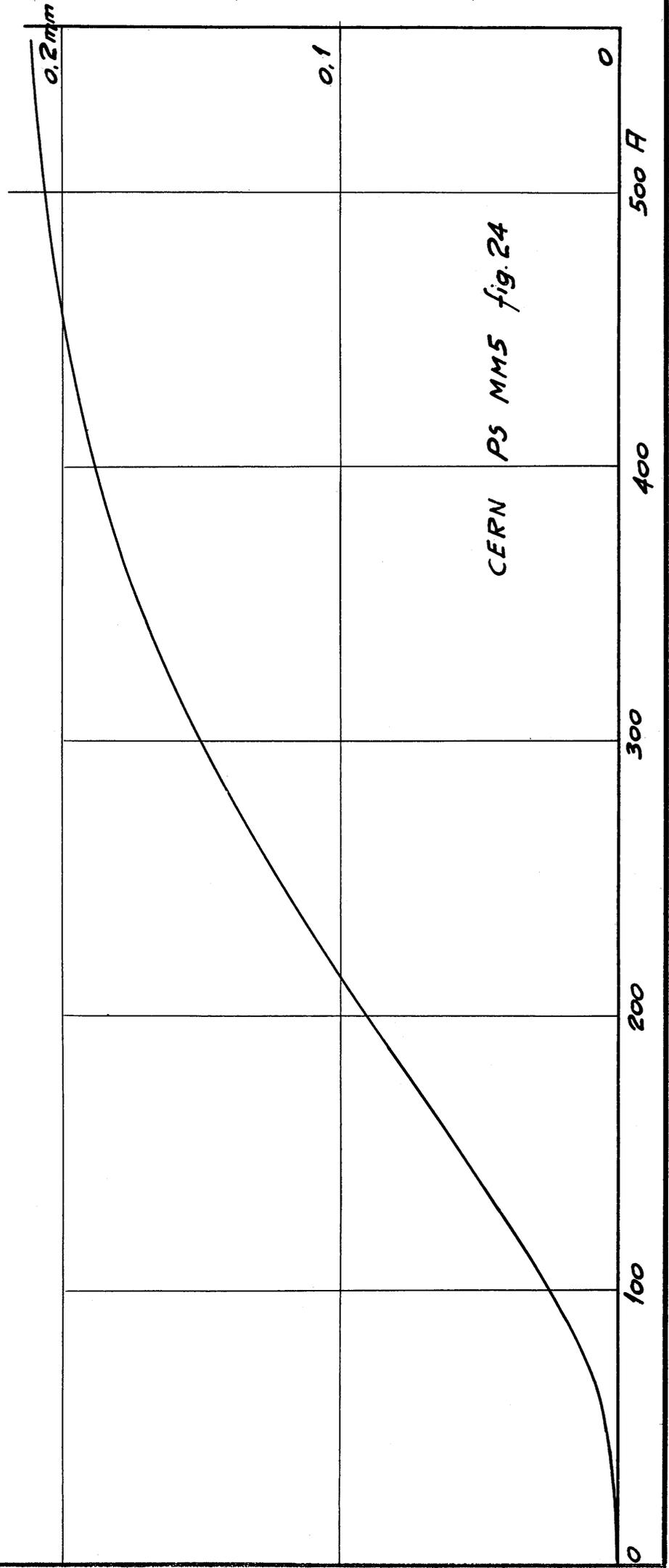


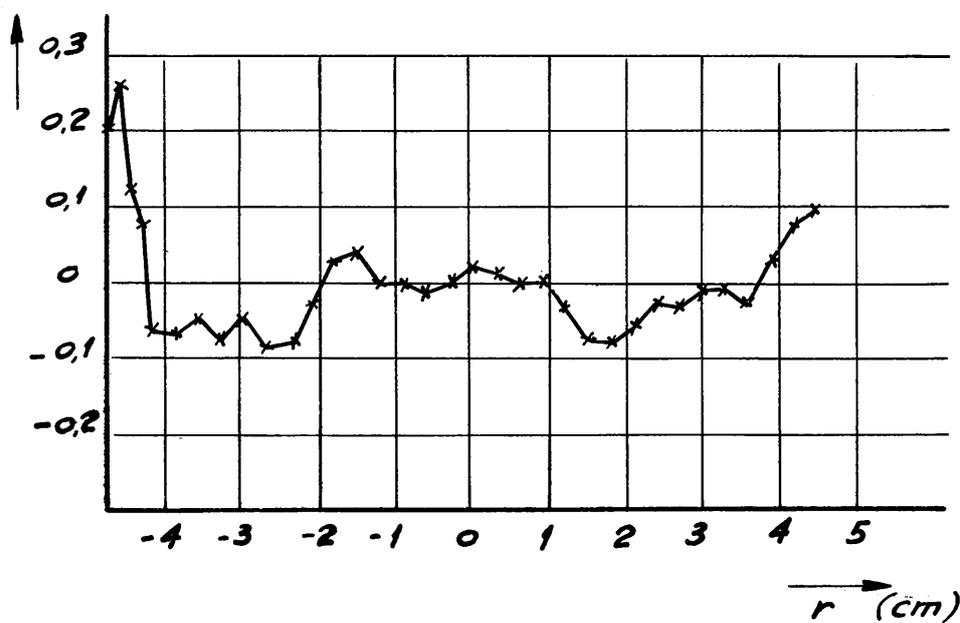
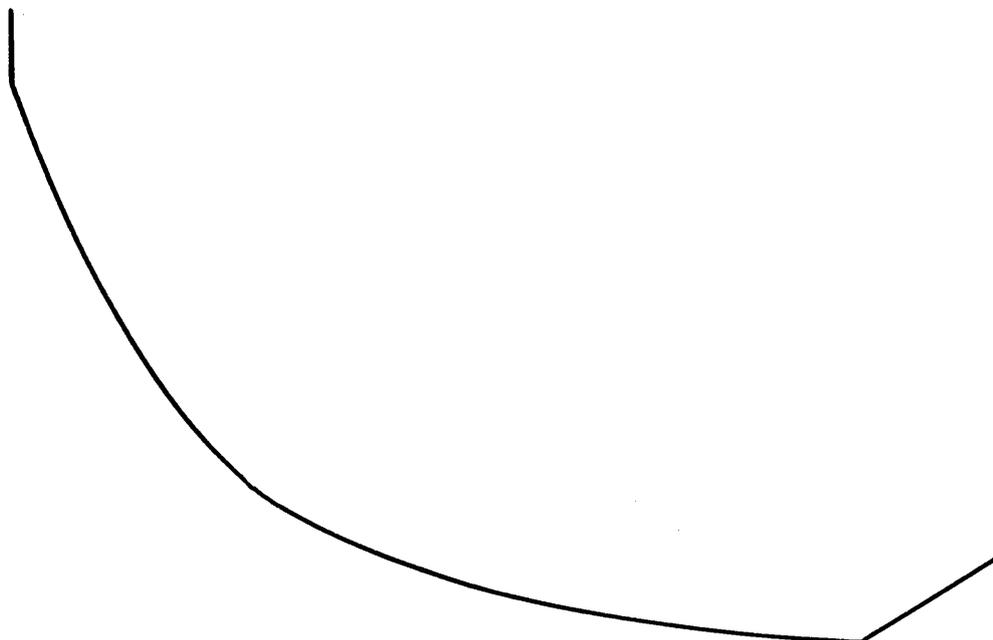
valeurs de:
$$\frac{\left(\frac{\Delta B}{B_0}\right)_{z=6} - \left(\frac{\Delta B}{B_0}\right)_{z=0}}{\left(\frac{\Delta B}{B_0}\right)_{z=0}} ; \Delta B = \frac{\partial B}{\partial r} \cdot \Delta r$$
 où

CERN PS MM5

fig 23

Variation de la distance entre les pièces polaires en fonction du courant





Variation des ordonnées des pièces polaires

par rapport à l'hyperbole $xy = 1255,4 \text{ mm}^2$