

MPS/Int. POW 65-1
22.3.1965

ETUDE ET REALISATION DE QUADRUPOLES D'INJECTION

TABLE DE MATIERES

1. Réglage de la focalisation à l'injection
2. Quels sont les inconvénients de la situation actuelle
3. Les spécifications
4. Le calcul des quadropoles
5. Les ordres de grandeurs
6. Le gradient à corriger
7. Réalisation du quadropole d'injection

1. Réglage de la focalisation à l'injection

Le C.P.S. dispose à l'injection d'un certain nombre d'éléments destinés au réglage de la focalisation. La liste de ces éléments est la suivante :

- 400 enroulements polaires (P.F.W.)
- 20 quadripoles
- 20 sextupoles
- 20 octupoles.

1.1. Les enroulements polaires

Disposés sur les pôles des aimants ces enroulements sont principalement destinés à compenser les effets de saturation des pièces polaires à haute énergie.

De plus, un assemblage de boucles placées dans le champ de l'aimant fournissent une tension

$$V = k \frac{\partial B}{\partial t}$$

Cette tension est utilisée pour compenser les effets de Foucault dans la chambre à vide qui sont de la même forme.

La compensation est réalisée en réinjectant cette tension à travers des résistances aux bornes de conducteurs des enroulements polaires. Le choix des conducteurs et des résistances est réalisé à l'aide d'un programme (réf. 4).

On peut à l'injection faire passer dans les enroulements polaires des courants de l'ordre de l'ampère donné par des alimentations indépendantes. L'effet sur le faisceau est complexe mais surtout sextupolaire.

1.2. Les 20 quadripoles placés alternativement en section droite focalisante et défocalisante ont été prévus pour les hautes énergies. Ils occupent chacun une section droite. Ils ne sont pas en général utilisés à haute énergie, mais à l'injection, sauf dans les cas de l'éjection lente où l'on est amené à séparer l'un d'eux de l'ensemble.

1.3. Sextupoles et octupoles ne sont pas utilisés à l'injection.

2. Quels sont les inconvénients de la situation actuelle ?

- Un grand nombre de sections droites sont utilisées pour des appareils qui ne sont pas utilisés au mieux de leurs possibilités.
- L'éloignement des quadrupoles crée un grossissement localisé du faisceau (réf. 1) qui amène à leur préférer les enroulements polaires mieux répartis le long de l'anneau. On est donc tenté d'utiliser les enroulements polaires dont l'effet quadrupolaire est faible mais qui sont répartis de façon plus uniforme le long du faisceau.
- L'utilisation séparée d'un quadrupole lors d'une éjection lente aggrave encore cet effet.

3. Les spécifications

Pour pallier ces inconvénient, H.G. Hereward a défini les spécifications d'une série de 50 quadrupoles dans un memorandum que nous avons en partie reproduit en annexe I.

Ces spécifications sont à la base de notre travail, pour compléter l'énoncé du problème nous reproduisons (fig. 12) le plan d'ensemble de l'emplacement qui nous était réservé dans l'aimant.

Soit x (longitudinal), y (transversal), z (vertical)
trois axes de coordonnées définis par rapport au faisceau du P.S. (fig. 1).

- Nous ne sommes pas limités suivant y .
- En z les deux bobines de l'aimant principal limitent la place disponible à l'espace compris entre deux plans symétriques par rapport à 0 et distants de 150 mm.

- Suivant x les deux limites sont : d'un côté les enroulements polaires de l'aimant, de l'autre le flasque d'un raccord souple de la chambre à vide. Soit 150 mm suivant l'axe des x .
- Suivant l'axe des y le grand axe de la chambre à vide mesure 150 mm, le petit axe 75 mm suivant l'axe de z .
- Nous avons représenté ces différentes limitations fig. 2.

On voit que dans cet espace le quadrupole sera plus large que long. Cela enlève aux calculs dans un plan transversal une bonne part de leur signification. Les effets de bords seront très importants.

D'autre part, contrairement aux structures classiques notre quadrupole n'aura que deux plans de symétrie mécanique $y = 0$ $z = 0$ alors que dans la plupart des cas les plans $y = \pm z$ sont aussi des plans de symétrie mécanique.

Enfin, dans les 150 mm dont nous disposons suivant l'axe des x (longitudinal) nous devons loger les conducteurs longitudinaux mais aussi les conducteurs transversaux de retour des courants. Nous verrons que dans la version définitive cela ramène à environ 80 mm la partie purement longitudinale du quadrupole. Cela nous a imposé une construction qui donne aux peignes de retour la forme la plus massive possible.

On voit que, compte tenu des conditions imposées, la partie proprement théorique devait se réduire à définir les ordres de grandeur des courants nécessaires et éventuellement à fournir quelques indications sur les dispositions de courant les plus favorables.

4. Le calcul des quadrupoles

Pour ce calcul, nous négligeons les effets de bord et par suite considérons le quadrupole comme infini suivant l'axe des x . Alors il suffit de calculer le champ dans un plan $x = \text{cte}$ quelconque et le problème se réduit à l'étude du plan $y. z$.

On sait (Ref. 7) que la connaissance du champ suivant un axe quelconque dans ce plan suffit à définir le champ dans tout l'espace de la chambre à vide. Cela nous a permis de limiter nos calculs à l'étude du champ sur l'axe y .

Nous avons repris, en nous limitant à un cas simple, l'étude citée en réf. 3 dans le cas où les plans de symétrie mécanique $y = \pm z$ n'existent pas.

Considérons (fig. 3) quatre nappes de courant infiniment minces disposées en rectangle, les sens des courants étant donnés par la fig. 3.

Soit B_z le champ vertical sur Oy .

G_0 le gradient de ce champ créé par les deux plaques $y = \pm b_0$ de hauteur $2a$.

G_1 le gradient de ce champ créé par les deux plaques $z = \pm b_1$ de hauteur $2a$.

I le courant parcourant ces plaques.

Définissons les paramètres et variables auxiliaires :

$$R_0^2 = a^2 + b_0^2$$

$$R_1^2 = a^2 + b_1^2$$

$$W_0 = \frac{y}{R_0}$$

$$W_1 = \frac{y}{R_1}$$

$$A_0 = \frac{b_0^2 - a^2}{R_0^2}$$

$$A_1 = \frac{b_1^2 - a^2}{R_1^2}$$

(1)

Alors le champ B est perpendiculaire à l'axe y . Son gradient sur l'axe s'écrit :

$$\frac{\partial B_2}{\partial Y} = G_0 + G_1 \quad (2)$$

avec

$$G_0 = \frac{\mu}{\pi} \cdot \frac{I}{R_0^2} \frac{1 + W_0^2}{1 - 2A_0 W_0^2 + W_0^4} \quad (3)$$

$$G_1 = \frac{\mu}{\pi} \frac{I}{R_1^2} \frac{1 - W_1^2}{1 + 2A_1 W_1^2 + W_1^4} \quad (4)$$

Il s'agit de plaques infiniment minces de courant.

Si nous considérons des plaques épaisses d'épaisseur h le courant I peut s'écrire :

$$I = 2ah.J.$$

J étant la densité de courant.

Cette approximation est justifiée compte tenu des approximations déjà introduites. Pour la même raison, nous pouvons choisir les valeurs de b_0 , b_1 et h de façon approchée, soit :

$$h = 3 \text{ cm}$$

$$b_0 = 9 \text{ cm}$$

$$b_1 = 5 \text{ cm.}$$

Ces formules nous permettent de calculer quelles seraient les répartitions les plus favorables pour obtenir un gradient constant en fonction de y .

On trouve alors que pour $a = 7,5$ cm, le gradient est constant à mieux que 2 %.

C'est dans cette direction que nous avons d'abord orienté nos calculs. Les difficultés de réalisation pratique nous ont amenés à prendre un autre point de vue.

Le gradient au centre est donné par

$$G = G_0 + G_1 = \frac{2 \mu J}{\pi} \left(\frac{ah}{R_0^2} + \frac{ah}{R_1^2} \right) \quad (5)$$

On peut rendre ce gradient maximum et espérer corriger ensuite à l'aide de bobines déterminées expérimentalement les irrégularités de gradient sur l'axe y .

Nous avons tracé fig. 4 la courbe f

$$f(a) = \frac{ah}{R_0^2} + \frac{ah}{R_1^2}$$

A moins d'une réalisation très complexe, les peignes de retour occuperont une place $2a$ et si ℓ est la longueur totale dont nous disposons la longueur effective sera $(\ell - 2a)$.

La résistance du quadrupole variera comme $\frac{\ell - 2a}{a}$.

L'intensité totale variera comme a .

La puissance requise par le quadrupole variera comme $(\ell - 2a) a$.

L'effet du quadrupole : $F = \int G dx$ variera comme $f(a) (\ell - 2a)$.

Nous avons tracé fig. 4 ces différentes courbes.

$$P = (\rho - 2a) a$$

$$F = f(a) (\rho - 2a).$$

Il ressort de ces courbes que la force maximum du quadrupoles est obtenue pour

$$a \sim 3 \text{ cm.}$$

Ces courbes ne considèrent que la partie longitudinale des conducteurs. Un examen plus détaillé des conducteurs de retour amène à penser qu'une valeur de a un peu supérieure serait probablement plus favorable.

5. Les ordres de grandeur

avec les valeurs déjà choisies :

$$a = 3 \text{ cm}$$

$$b_0 = 9 \text{ cm}$$

$$b_1 = 5 \text{ cm.}$$

L'équation (5) s'écrit :

$$G = 30 J. \tag{6}$$

où J est en $A \cdot \text{mm}^{-2}$

G en Gauss $\cdot \text{cm}^{-1}$.

La partie efficace du quadrupole étant de l'ordre de 8 cm on en déduit que pour créer un effet

$$3 \text{ g} \cdot \text{m} \cdot \text{cm}^{-1} \quad *)$$

il faudra une densité de courant de l'ordre de

$$1,2 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}.$$

Il semble que les approximations faites soient relativement acceptables. En effet, pour créer ce même effet le quadrupole définitif demande un courant de $1 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$. Notons que cette surface de 1 mm^2 comprend non seulement le cuivre mais aussi l'isolant et l'espace perdu par bobinage.

6. Le gradient à corriger

On peut également, à partir des formules (3) (4) calculer la répartition du gradient sur l'axe y . Nous avons donné en fig. 5 le résultat de ce calcul. C'est en principe cette courbe que nous devons corriger sur le modèle à l'aide d'enroulements convenablement choisis.

Sur la courbe fig. 5 les courbes G_0 et G_1 correspondent aux valeurs définies par (3) et (4). Le gradient résultant est tracé en traits pleins. Par suite des effets de bord ces courbes sont purement indicatives.

En fait, les spécifications (Annexe I) portent sur la quantité

$$\int B_z dx \quad (7)$$

Les protons, oscillant dans la chambre à vide, voient successivement les gradients existants à des valeurs de y différentes et sont donc sensibles à la valeur moyenne intégrée le long du quadrupole qui est décrite par (7).

*) Voir Annexe I.

Remarquons que c'est également cette grandeur qui représente le flux du champ dans une bobine de largeur unité placée suivant une parallèle à l'axe du quadrupole.

Les courbes fig. 5 montrent l'importance de la partie expérimentale qui a pour but de compenser des erreurs de $\pm 30\%$ sur le gradient.

En fait l'approximation de ces courbes est assez grossière et les premières mesures ont montré que le champ à compenser était fortement modifié par les effets de bord dont les formules précédentes ne tiennent pas compte.

7. Réalisation du quadrupole d'injection

7.1. Généralités

La mise au point du prototype de la lentille quadrupolaire d'injection a été faite au CERN dans tous les détails. Le bobinage de la totalité des galettes correspondant à 51 lentilles a été confié à une firme extérieure. Cependant, l'outillage et le matériel étaient mis à disposition par nous. Le pliage, l'assemblage des bobines et le coulage ont été entièrement faits au CERN.

Deux des premiers quadrupoles fabriqués fonctionnent d'une façon satisfaisante sur la machine depuis plusieurs mois. Ils remplacent deux grandes lentilles (type Rade Koncar) à l'injection; les nos. 10 et 30, qui ont été remplacés pour céder leurs places à d'autres équipements.

7.2. Données de base

Nous reprenons ci-après les données qui ont été déterminantes pour le développement du quadrupole :

a) La valeur :
$$\frac{\partial}{\partial x} \int_{-\infty}^{+\infty} B_z \cdot dx = 2,9 \text{ G} \cdot \text{m} \cdot \text{cm}^{-1}$$

- b) La valeur de $\int_{-\infty}^{+\infty} B_z \cdot dx$ dans le plan median comme fonction de y (ou R) entre -7 et $+7$ cm devait être linéaire avec des tolérances de $\pm 3\%$.
- c) Le volume disponible autour de la chambre à vide, du côté où le faisceau entre dans l'aimant, est limité par les capots de protection des bobines principales de l'aimant, le flasque de la chambre à vide côté section droite ainsi que les enroulements polaires qui dépassent le dernier bloc de l'aimant (voir fig. 12).
- d) Des calculs basés sur les paramètres (voir § 5 : Les ordres de grandeur) ont démontré qu'il faudra environ 1.000 A.t par pôle pour obtenir l'effet voulu.
- e) Le nombre des lentilles à fabriquer a été fixé à 50. Ceci a une influence sur les divers processus au cours de la production.

7.3. Modèle

Un modèle a été fait dans le but de vérifier les calculs et obtenir des renseignements quantitatifs et qualitatifs sur un champ quadrupolaire créé par des bobines disposées dans l'air. Le modèle consistait en un bloc de plexiglas d'une longueur de 10 cm et muni de deux types de trous : les uns recevant les bobines d'excitation et les autres pour la sonde de mesure. Les trous pour la sonde de mesure ont été distribués sur une section correspondante à la chambre à vide et disposés à chaque centimètre sur des lignes parallèles à l'axe des x , $z = -3$ à $+3$ cm, et $y = -7$ à $+7$ cm. On a appliqué une tension à 10 kHz aux bobines d'excitation. La distribution du champ intégré a été mesurée avec une sonde mince de quelques centaines de spires et d'une longueur d'environ 40 cm. Les nombres de tours ainsi que leur disposition a été varié.

7.4. Choix du fil et conception des bobines

Plusieurs facteurs ont joué un rôle pour le choix du fil, notamment :

- Il a fallu disposer d'environ 1.000 A.t par pôle sur une surface assez restreinte. Ceci a exigé un remplissage du cuivre aussi élevé que possible.

- l'intérêt de pouvoir bobiner d'une façon classique et simple, vu le grand nombre de bobines à effectuer (200 bobines pour faire 50 lentilles).
- La section du fil joue un grand rôle pour le choix des alimentations des quadripôles - choix du rapport courant / tension.

La comparaison des facteurs cités a conduit à la conception définitive qui consiste à composer une bobine (1/4 d'un quadripôle) à l'aide d'une dizaine de galettes. Chaque galette ayant 20 spires d'un fil rectangulaire de 4 mm^2 . La gamme de fabrication du fil rectangulaire dans l'industrie a aussi joué un rôle pour le choix du fil.

Caractéristiques du fil :

- Type : fil de cuivre méplat DUROFLEX M 3 (Am. "FORMVAR")
- Fabricant : Fabrique Suisse d'Isolants, Breitenbach
- Section : 4 mm^2
- Dimensions nues : $1,5 \times 2,8 \text{ mm} \times \text{mm}$
" avec isolation : $1,62 \times 2,92 \text{ mm}$
- Isolation : émail + résine synthétique
- Tension de claquage : 3 à 5 kVeff à 50 Hz appliquée entre cuivre et Hg quand le fil est trempé dans un bain de Hg.
- Température maximum admissible : 120°C .

7.5. Etablissement des plans

Une fois que le choix du fil et la conception des bobines ont été fixés, on a procédé à l'établissement des plans divers indiquant :

- les cotes définitives du quadripôle (voir fig. 10 et 12)
- les cotes définitives et développées des galettes (voir fig. 10), système et cotes de pliage.

La conception du moule a été déterminée et les plans correspondants établis (voir fig. 11). Il est à remarquer que le moule a subi une quantité de modifications (dégagement en araldite, câbles de positionnement etc..) au cours du développement. Ces modifications ont été rapportées sur les plans par la suite.

Des plans du support réglable du quadrupole et du gabarit de positionnement ont été faits. Ces plans ont également subi des modifications à la suite des essais de montage et de réglage sur un aimant.

Le montage du quadrupole entre les bobines de l'aimant a nécessité plusieurs modifications : des capots de protection des bobines, des plaques en bakélite collées sur les bobines etc.... Des plans correspondants ont été établis.

7.6. Outils de bobinage

Un premier jeu d'outils en aluminium a été fait sur lequel un premier jeu de galettes a été bobiné et plié. Sur la base du résultat obtenu, on a corrigé les cotes des outils. Le deuxième jeu d'outils corrigé a été usiné très précisément en acier. Ce jeu a donné entière satisfaction. L'enveloppe d'une bobine (après pliage de 90° des galettes) a pu être inscrite dans un rectangle. En plus, la liaison d'une galette à l'autre (qui se fait successivement à l'intérieur et à l'extérieur) tombait toujours en face de celle de la galette voisine. Ceci a été d'une grande importance pour faciliter l'assemblage des galettes.

7.7. Bobinage des galettes

Il s'agissait de bobiner 200 x 11 galettes (11 types de galettes). On a donc consacré le temps nécessaire pour bien mettre au point le processus de bobinage. Il s'est avéré important de maintenir une tension constante du fil pendant le bobinage et ceci pour la totalité des galettes. Une tension trop élevée entraînait un effet de ressort de la galette qui se déformait lors du pliage.

Au contraire, une tension trop basse ne permettait pas de tenir les tolérances. A la tension finalement adoptée les galettes ont été uniformes avec des cotes droites avant et après pliage et sans déformation.

La totalité des galettes a été bobinée par une firme extérieure. L'outillage et le fil ont été mis à disposition par le CERN.

7.8. Pliage des galettes (voir détail fig. 10)

Le pliage des galettes a été fait sur une plieuse normale muni d'une butée réglable. Pour les tout premiers jeux, les galettes ont été protégées par des cartons durs de chaque côté. Cependant, on a constaté que le résultat était satisfaisant sans carton de protection. Aucune fissure de l'isolation n'a pu être constatée et il a été plus facile de maintenir l'angle de pliage constant (90°).

7.9. Assemblage des bobines

L'assemblage des bobines a été effectué au CERN par des électriciens qualifiés et n'a pas posé de problèmes. Une pince spéciale a été conçue pour faciliter l'adaptation des fils pour la soudure. Les bobines en sont sorties d'une façon très uniforme.

7.10. Mise au point du prototype

Un cadre de mesure en plexiglas usiné avec des tolérances très serrées a été fait pour recevoir les quatre bobines constituant un quadrupole (voir photo 1 et 2). Chacune des quatre parois a été munie de plaques réglables à 4 pattes d'appui contre les bobines. Le fond ainsi que le couvercle du cadre a été percé pour le guidage de la sonde de mesure. Les trous étaient placés à chaque centimètre à partir de l'orbite d'équilibre sur des lignes horizontales (y) et verticales (z) de $y = -7$ à $+7$ cm et $z = -3$ à $+3$ cm.

Le quadrupole a été excité avec un courant d'environ 1 mA à une fréquence de 10 kHz (voir schéma fig. 6). Nous avons utilisé la même bobine de mesure que pour les mesures sur le modèle. Ces mesures ont donné les valeurs des composantes verticales et horizontales du champ intégré sur des lignes parallèles à l'axe du quadrupole et pour des coordonnées de $y = -7$ à $+7$ cm et $z = -3$ à $+3$ cm. La figure 6 donne un tableau complet des mesures du quadrupole définitif. La fig. 7 indique l'intégrale de B_z , (B vertical), B_y , (B horizontal), comme fonction de y et z sur les axes de la lentille ainsi que la disposition des galettes. La fig. 8 représente la composante verticale du champ mesurée à $R = y = 7$ cm comme fonction de x pour un courant continu d'excitation de 4 A.

C'est après des essais de plusieurs combinaisons différentes des galettes de compensation que la disposition définitive a été trouvée.

La ligne la mieux adaptée aux points de mesure du champ intégré sur les axes du quadrupole démontre que la linéarité est meilleure que $\pm 1,5$ %. En s'éloignant des axes, la linéarité du champ devient moins bonne (voir fig. 6). Les valeurs de la tension induite dans la bobine de mesure au centre de la lentille ont été approximativement les mêmes que celles qui furent mesurées quand la sonde a été complètement enlevée du quadrupole (rayonnement).

7.11. Comment garantir les positions mutuelles des bobines - moules et coulage en araldite

La meilleure disposition des galettes du quadrupole a été déterminée au cours des mesures sur les bobines positionnées dans le dispositif de mesure. Il est évident qu'il a fallu maintenir cette même disposition des bobines dans les moules. En plus, l'emplacement du quadrupole entre les bobines de l'aimant a exigé l'introduction de celui-ci en deux moitiés séparées. Ceci a conduit à la solution suivante :

- deux bobines, formant la moitié du quadrupole, ont été coulées avec de l'araldite dans un moule démontable, entièrement fermé, muni de cales d'appui de tolérances serrées.
- quatre tiges démontables traversent le moule. Les trous ainsi formés servent à tenir les deux moitiés ensemble; deux des quatre tiges servent également à fixer le quadrupole au support.

Deux moules ont été fabriqués pour pouvoir couler une lentille complète à la fois. Les moules ont été faits en aluminium et les tiges en acier (voir photos 3 et 4 et fig. 11). Ils ont subi une quantité de modifications au cours du développement (pièces de dégagement et diverses cales de positionnement ajoutées). Les bornes filetées d'une moitié du quadrupole ont été coulées dans le moule. Elles ont été fixées à des positions précises par des vis traversant la paroi du moule.

Le coulage en araldite a été réalisé par des gens spécialisés. Malgré la géométrie relativement complexe des moules on a eu très peu de difficultés côté coulage. Remarquons cependant qu'il a fallu prendre un certain nombre de précautions comme par exemple de traiter au silicone toutes les pièces en contact avec l'araldite, pâte "molykote" sur les filetages, dégazage du mélange etc.

Les photos 5 et 6 montrent un quadrupole complet fixé au support.

7.12. Araldite chargée - effets de radiation

a) Araldite chargée

Mis à part quelques coulages d'essais et des prototypes, la quasi totalité des lentilles fabriquées ont été coulées en araldite chargée. La charge a pour effet de réduire les frais et nous espérons obtenir une meilleure résistance aux radiations.

Pour 49 des 51 lentilles définitives fabriquées, nous avons utilisé l'araldite type D qui permet une polymérisation relativement rapide à la température ambiante. Comme charge, nous avons utilisé un produit de la firme CIBA, $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, qui se présente sous forme d'une poudre très fine. CIBA a recommandé

d'ajouter une petite quantité de poudre de craie dans le but de faciliter le démoulage. Nous n'avons pas eu l'impression que la craie soit importante dans notre cas.

Plusieurs rapports de mélange charge/araldite ont été essayés et nous avons retenu la composition qui a donné le meilleur résultat, c'est-à-dire retrait minimal et homogénéité après polymérisation.

Le rythme de production a été d'un coulage par jour, c'est-à-dire une lentille.

Les deux dernières lentilles ont été coulées en araldite F chargée d'une forte proportion de $Al_2 O_3 \cdot 3H_2O$. Vu le fait reconnu que l'araldite F supporte mieux la radiation que l'araldite D, nous avons l'intention de faire couler plusieurs lentilles en araldite F chargée. Cependant, les essais faits avec araldite F chargé ont été décourageants. Il a été impossible d'éviter des fissures à plusieurs endroits des pièces coulées. Un inconvénient supplémentaire a été le temps de polymérisation très long sous $80^{\circ}C$.

Composition pour les lentilles no. 1 à 49 :

- Composant 1. 100 gr. araldite - type D (CIBA)
- " 2. 100 gr. $Al_2 O_3 \cdot 3H_2O$ - type DT079 (CIBA)
- " 3. 15 gr. craie - type OMYA - BLR/2 (Plüss & Stauffer A.G.)
- " 4. 9 gr. durcisseur - type MY 951 (CIBA)

Processus de coulage avec la composition ci-dessus :

(dans l'ordre chronologique)

- Composants 1, 2 et 3 mélangés et chauffés à $80^{\circ}C$ pendant 3 heures.
- Dégazage jusqu'à disparition des bulles d'air
- Refroidissement.

- Montage des moules après avoir soigneusement "siliconé" les pièces du moule, pâte "molycote" sur filetages des tiges.
- Moules et mélange préchauffés pendant environ 2 heures dans un four réglé à 70°C (les moules ont atteint une température d'environ 40°C).
- Introduction du composant 4 dans le mélange.
- Dégazage à nouveau.
- Coulage lent (pendant 10 à 15 minutes) - moules légèrement inclinés; On redresse les moules après environ 15 minutes et on rajoute du mélange.
- Polymérisation à la température ambiante (18 à 20°C) pendant environ 14 heures.
- Démontage du moule.

Composition pour les lentilles no. 50 et 51 :

- Composant 1. 100 gr. araldite - type F (CIBA)
- " 2. 130 gr. durcisseur - type HY 964 (CIBA)
- " 3. 20 gr. flexibilateur - type DY 040 (CIBA)
- " 4. 0,5 gr. accélérateur - type 064 (CIBA)
- " 5. 500 gr. $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ - type DT 079 (CIBA)

Processus de coulage avec la composition ci-dessus

(dans l'ordre indiqué)

- Chauffage du mélange des comp. 1, 2 + 50 % de comp. 3 et 5 à 80°C.
- Dégazage pendant environ 30 minutes.
- Mélanger comp. 4 avec 50 % de comp. 3 et introduire dans le mélange précédent.
- Dégazage à nouveau pendant environ 10 minutes.

- Montage des moules (silicone et "molycote"); on fixe les cheminées de remplissage des moules à l'élastomère-silicone.
- Préchauffage des moules à 80°C.
- Coulage lent.
- Dégazage jusqu'à la disparition des bulles d'air - environ 15 minutes.
- Polymérisation à 80°C pendant environ 36 heures.
- Déblocage des boulons des moules à chaud avant refroidissement - démontage des tiges.
- Refroidissement lent - quelques heures.
- Démontage à la température ambiante.

b) Effets des radiations

Les propriétés mécaniques de l'araldite se détériorent rapidement après avoir reçu une dose de 10^8 à 10^9 rads. Dans le PS, les sections droites proches des cibles reçoivent par année 10^8 à 10^9 rads. Dans les autres sections, les doses sont environ 10 fois moins fortes. Au vu de ces chiffres et compte tenu de l'augmentation prévue de l'intensité du PS, il apparaît que l'araldite n'est pas le meilleur matériel à utiliser à proximité du faisceau.

L'expérience a montré (réf. 6) qu'on peut augmenter la résistance de l'araldite entre les effets des radiations par l'introduction de charges minérales. Pour ces raisons, nous avons utilisé $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ comme charge. Les essais sont en cours pour vérifier les propriétés de ce mélange :

araldite / $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$.

7.13. Support du quadrupole et sa géométrie-réglage

Au début on avait pensé fixer le quadrupole directement sur la chambre à vide. Cependant, ceci aurait conduit à plusieurs inconvénients, tels que :

- renforcement probable de la chambre à vide pour permettre de supporter la charge d'environ 15 kg
- positionnement du quadrupole déterminé par la position de la chambre à vide.

On a finalement adopté la solution d'un support spécial du quadrupole, fixé sur l'aimant. La fig. 12 montre la conception du support. Il est fixé sur le dernier bloc de l'aimant par deux queues d'aronde. Le quadrupole est fixé d'un côté sur une plaque en laiton qui coulisse par l'intermédiaire de tiges dans le montant du support. Ceci permet le réglage radial de la lentille. Le montant de son côté coulisse dans le sens vertical. Ainsi la lentille a deux libertés de mouvement. La géométrie est telle que l'axe du quadrupole est perpendiculaire au dernier bloc de l'aimant et que les plans $x - y$ et $x - z$ du quadrupole coïncident avec ceux du dernier bloc.

Le positionnement de la lentille se fait à l'aide d'un gabarit qui se fixe également dans les queues d'aronde du bloc de l'aimant. La précision du réglage est meilleure que 0,5 mm (dans les sens y et z). Des rondelles et plaques isolantes séparent les pièces mécaniques qui pourraient former des boucles dans le champ magnétique du PS. L'ensemble support est mis à la masse en un seul point sur une des bandes de soutien des enroulements polaires.

7.14. Emplacement des quadrupoles dans le PS

Pour placer les 50 quadrupoles dans l'aimant du PS on a retenu les quatre possibilités suivantes :

Aimants no. :	1, 2 - 5, 6 -	- 97,98
	2, 3 - 6, 7 -	- 98,99
	3, 4 - 7, 8 -	- 99,100
	4, 5 - 8, 9 -	- 100,1

Le quadrupole d'injection a été développé pour être monté autour de la chambre à vide normale. Dans l'infecteur, les zones d'éjection Sud et Est plusieurs aimants sont équipés de chambres à vide spéciales. Pour éviter au maximum les chambres à vide spéciales, nous avons choisi la séquence suivante d'implantation des quadrupoles :

25 lentilles focalisantes (dans le plan horizontal) :

Aimants no. : 3, 7, 11, 15 99

25 lentilles défocalisantes (dans le plan horizontal) :

Aimants no. : 4, 8, 12, 16 100

Ceci nous amène à prévoir des lentilles spéciales dans les sections droites 27 et 100.

7.15. Unités d'aimant équipées de chambres à vide spéciales - lentilles spéciales

Comme déjà dit, les lentilles no. 27 et 100 n'ont pas pu être montées à cause de chambres à vide spéciales.

Pour l'aimant no. 27 une lentille spéciale est en cours de développement (voir fig. 14). Pour l'aimant no. 100, la difficulté sera résolue en montant une lentille du type normal entre l'aimant et la grande lentille quadrupolaire dans la section droite 100 en introduisant une chambre à vide spéciale dans cette section droite (suppression du "bellow").

Un deuxième type de lentille spéciale sera nécessaire pour l'aimant no. 59 qui recevra une chambre à vide spéciale au prochain arrêt du PS. Cette lentille élargie est également au stade de prototype (voir fig. 13).

7.16. Câbles et tableau de branchement des quadrupoles

Chacune des 50 lentilles est câblée séparément jusqu'à un tableau situé au PH. Ce tableau permet d'obtenir un maximum de flexibilité au point de vue branchement aux alimentations (voir photo 7).

Les lentilles sont reliées à ce tableau par un câble à deux conducteurs, $2 \times 10 \text{ mm}^2$. Les conducteurs sont isolés séparément et enveloppés d'une gaine en PVC dur.

Type de câble : NYY

Tensions nominales : 0,6 / 1 kV/kV, 50 Hz

(valeurs efficaces contre terre et entre conducteurs):

7.17. Alimentations et leur commande à distance

Pour alimenter les lentilles, nous avons fabriqué 10 stabilisateurs de courant transistorisés, 5 A, 75 V. Ils sont installés au PH en deux groupes de 5, à droite et à gauche du tableau de branchement. Ils peuvent être commandés soit localement soit à distance. Du fait que les alimentations n'ont pas de pré-réglage de la tension redressée, il est important que la charge ne soit pas inférieure à 12 à 13 ohm. C'est la raison pour laquelle nous avons introduit en série une résistance variable de 10 ohm.

Deux châssis pour la commande à distance des deux groupes d'alimentation sont installés au MCR (MR 90). Les tensions des shunts des alimentations sont ramenées au sélecteur du scope au rack MR 50.

La fig. 15 montre le schéma des alimentations et des châssis de commande. La fig. 16 indique la liaison du MCR au P.H.

7.18. Résumé des caractéristiques du quadrupole

a) Magnétique

$$\frac{\partial}{\partial r} \int_{-\infty}^{+\infty} B_z \cdot dx = 2,82 \text{ G.m/cm sous } 5 \text{ A}$$

de courant d'excitation.

La longueur efficace est environ 12 cm.

$\int_{-\infty}^{+\infty} B_z \cdot dx$ comme fonction de y entre -7 et $+7$ est linéaire dans les limites d'environ $\pm 1,5 \%$.

b) Electrique et thermique

$$R_0 = 1,55 \text{ ohm}$$

$$Z = \text{env. } 7 \text{ ohm (mesuré avec } 1 \text{ A, } 50 \text{ Hz)}$$

$$L = \text{env. } 22 \text{ mH}$$

$$R \text{ (stationnaire) à } 5 \text{ A} = 1,70 \text{ ohm}$$

$$\text{Pour } 5 \text{ A, } t \text{ amb.} = 24^\circ\text{C, } \Delta R = 0,15 \text{ ohm.}$$

$$\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad \underline{\Delta t = 22,5^\circ \text{ C.}}$$

Température moyenne du cuivre = $46,5^\circ\text{C}$ pour 5 A ($1,25 \text{ A/mm}^2$).

c) Poids du cuivre d'un quadrupole : env. 13 kg.

Poids du quadrupole coulé : env. 16,5 kg.

7.19. Cahier de mesure

Les 51 lentilles de type définitif fabriquées ont été numérotées de 1 à 51. Nous avons établi un cahier de mesure où chaque lentille a reçu une feuille de mesure. Toutes les lentilles ont été vérifiées au point de vue résistance ohmique, impédance à 50 Hz et polarité (voir fig. 9). Quelques lentilles ont été mesurées d'une façon plus approfondie (à 10 kHz). On a pu constater que les 51 lentilles ne diffèrent que de quantités négligeables très inférieures aux tolérances.

*
* * *

REMERCIEMENTS

H.G. Hereward a dirigé ce travail; nous le remercions pour les nombreux conseils qu'il nous a donnés. Nous remercions de même J. Augsburger, M. Georgijevic, J.H.B. Madsen et L. Solinas.

R. Gex pour les plans, K. Bussmann pour l'usinage des pièces mécaniques, J. Guillet pour les mesures et la mise au point, R. Vermot pour l'assemblage, R. Maitre pour le coulage en araldite, ont été les principaux artisans de la réalisation. Le modèle a été usiné et bobiné par R. Eisenmann.

Nous tenons à leur exprimer le plaisir que nous avons eu à travailler avec eux.

B. Tollefsrud Y. Baconnier

Distribution : (ouverte)

M. J. Guillet - MPS

Personnel scientifique du MPS

Personnel technique du Groupe Contrôle

REFERENCES

- 1) H.G. Hereward - Effects of quadrupoles in the C.P.S. methods of calculation.
MPS/Int. DL 63-9
- 2) H.G. Hereward - The properties of particles in optical matching systems,
in terms of phase-plane ellipse shapes
PS/Int. th 59-5
- 3) A. Septier - Les lentilles magnétiques quadrupolaires sans fer.
CERN 60-6, Mars 1960.
- 4) K.H. Reich - The C.P.S. Magnet - MPS/Int. DL 63-13
- 5) S. van der Meer - Measurements on the prototype quadrupole lens
CERN-PS/MM 34 - March 1958.
- 6) Bolt and Radiation effects on organic materials.
Carroll page 173.
- 7) Y. Baconnier La création de champs multipolaires dans une
chambre à vide elliptique - CERN 64-24

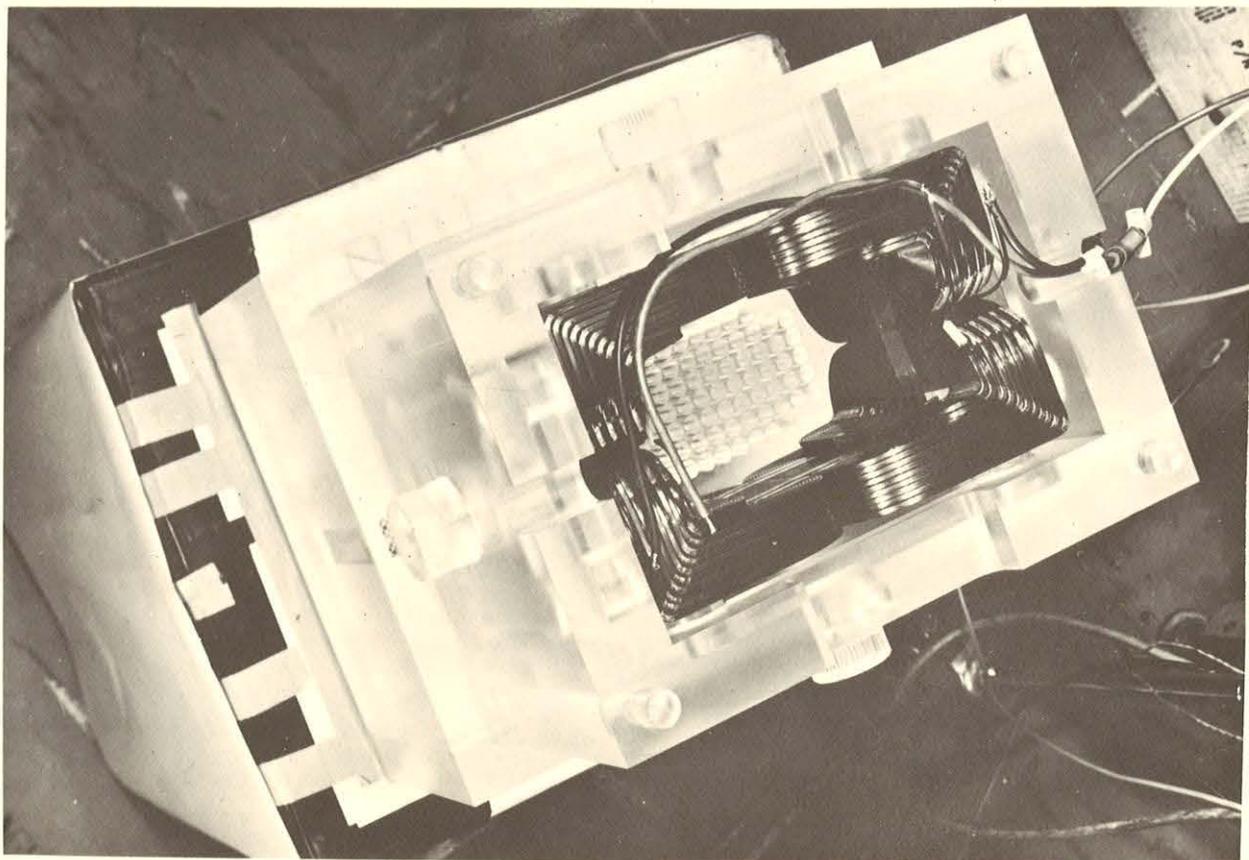


Photo 1 : Bobines dans le dispositif de mesure - sans couvercle

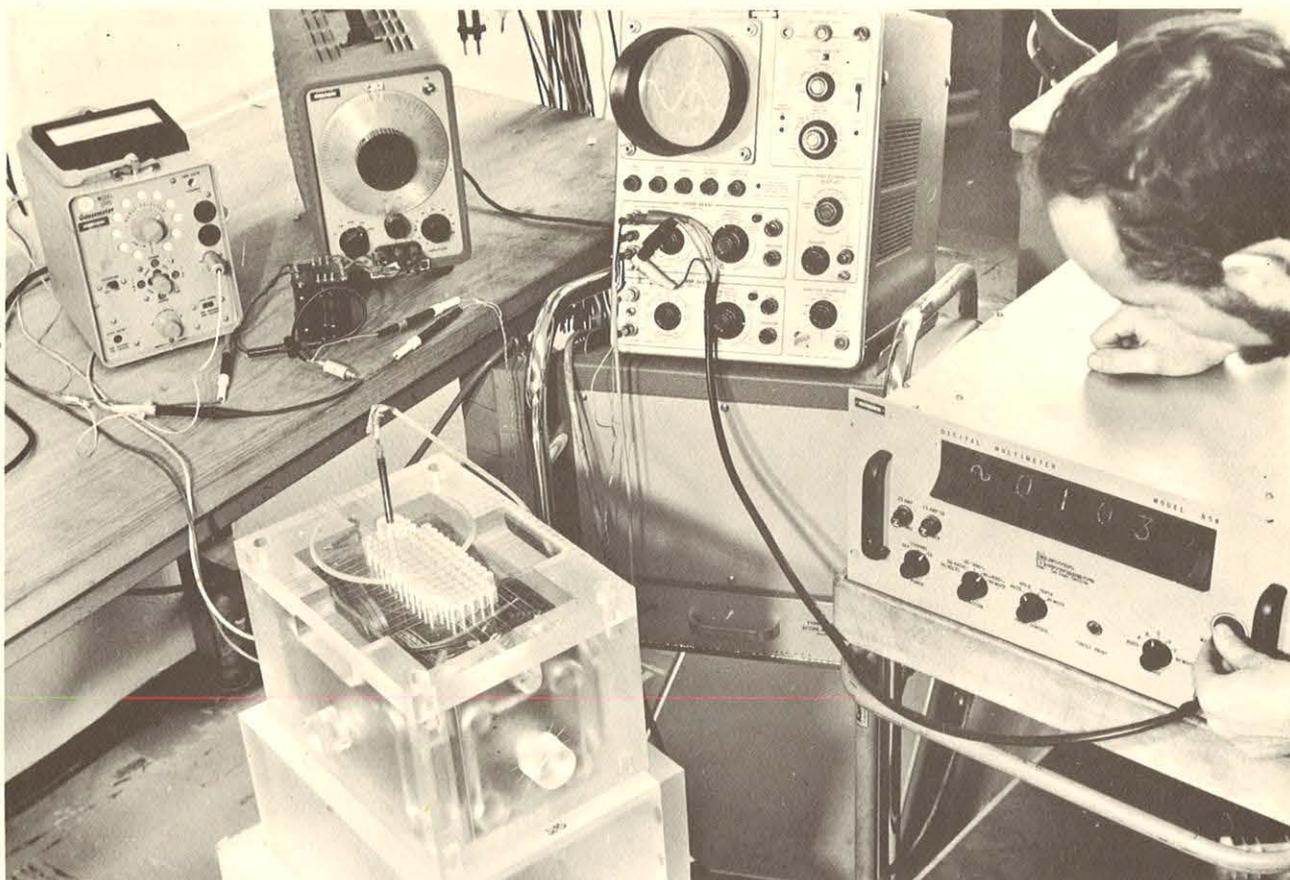


Photo 2 : Mise au point du prototype - appareillage de mesure

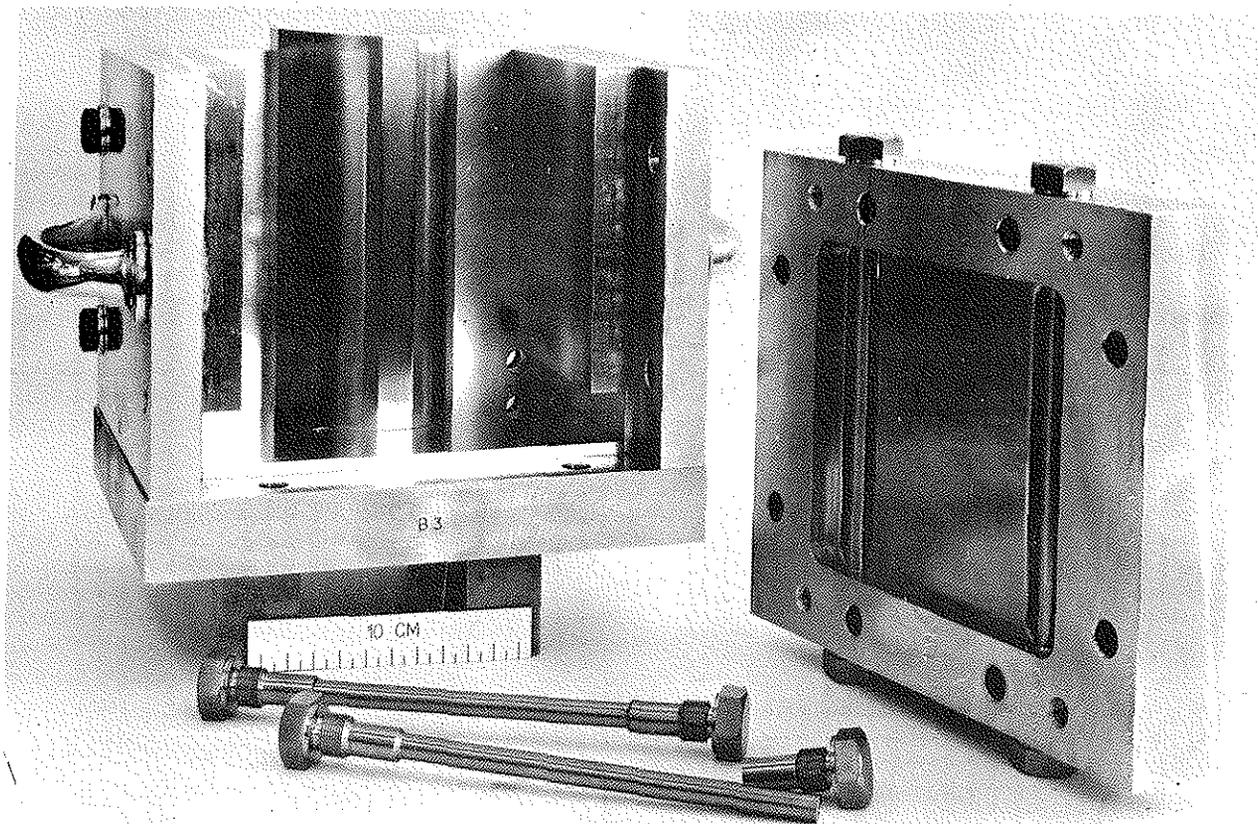


Photo 3 : Moule avec les pièces pour une moitié d'un quadrupôle

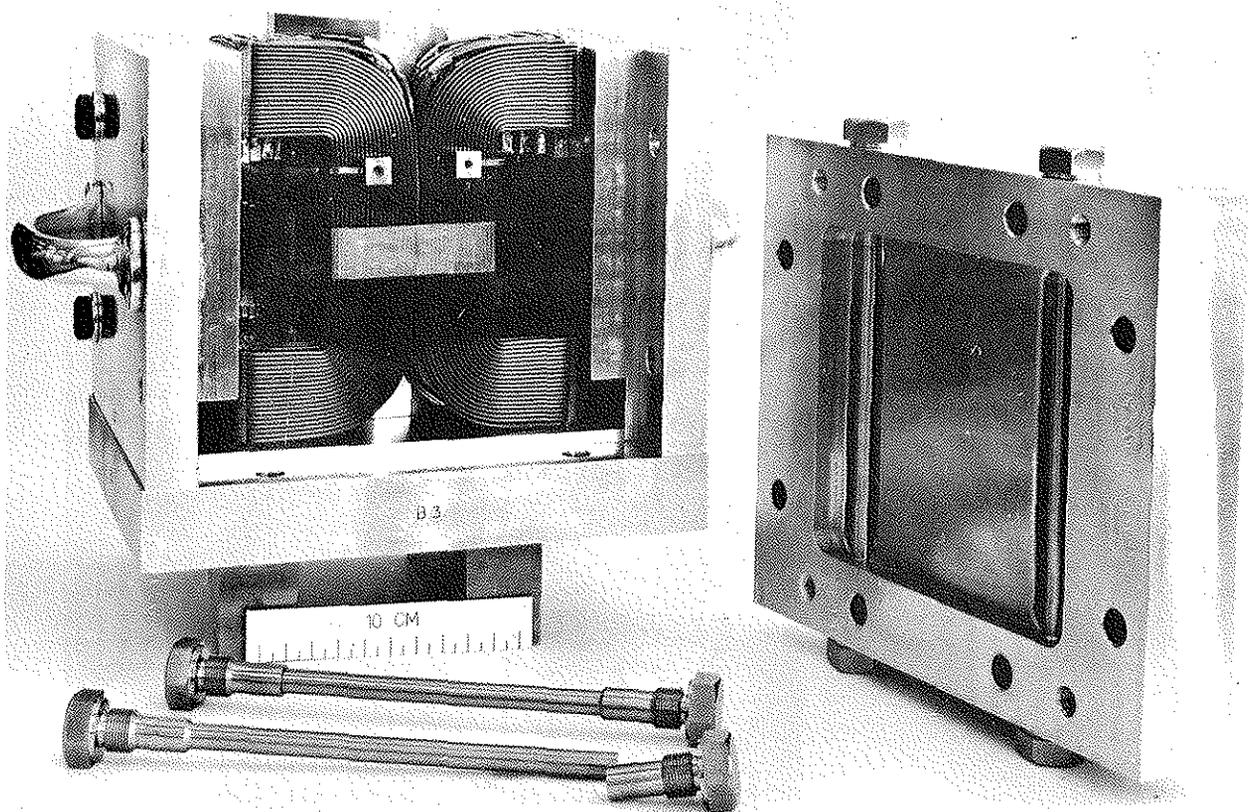
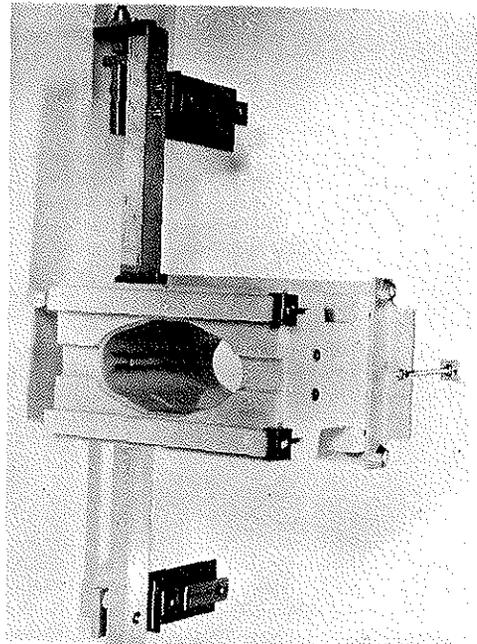
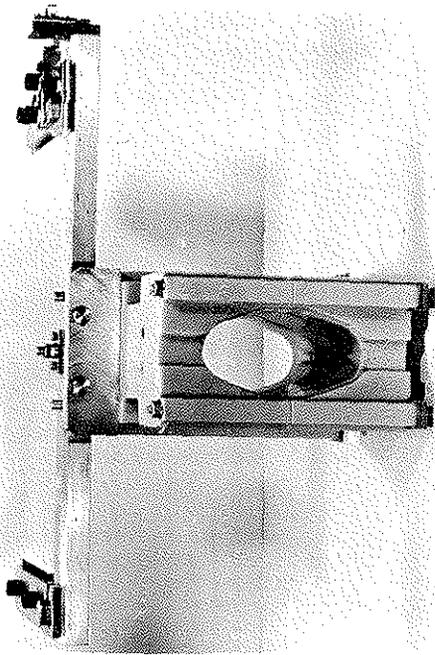


Photo 4 : Une moitié d'un quadrupôle placée dans le moule



Photos 5 et 6 : Quadrupôle d'injection complet avec support

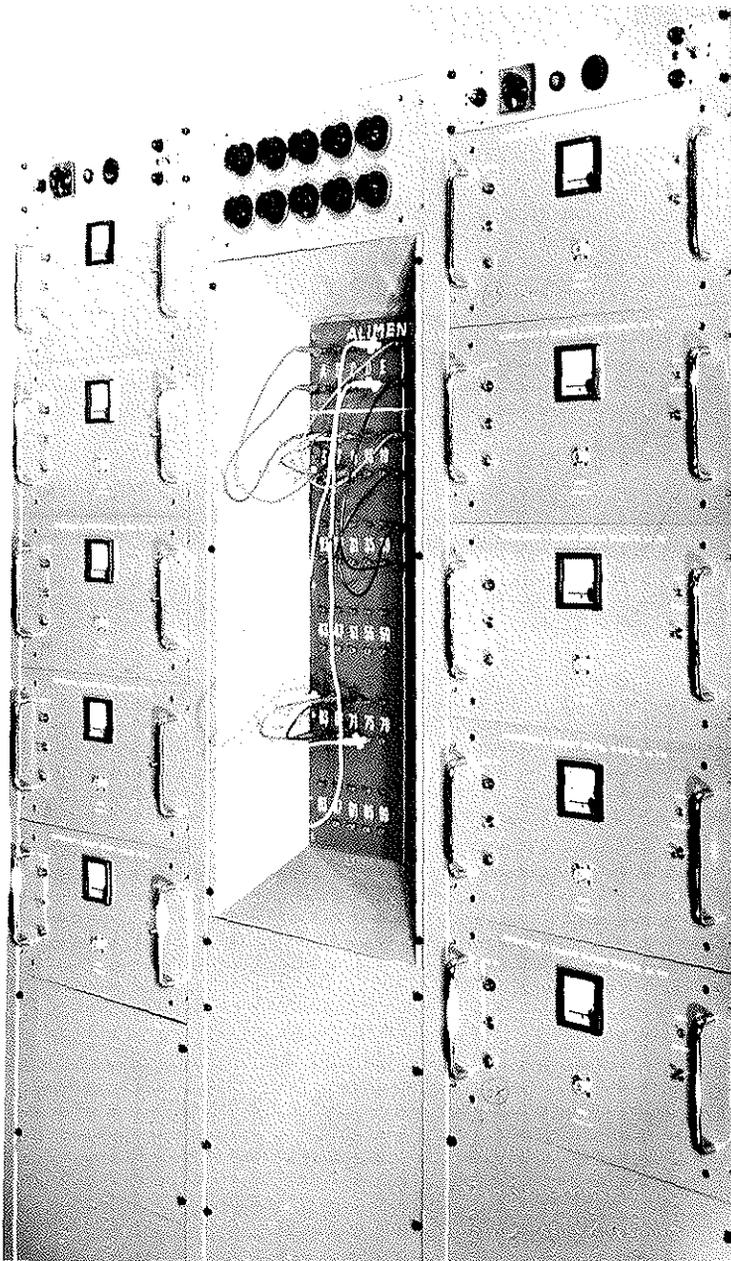


Photo 7 :
Tableau pour le branchement des
50 quadrupôles -
deux groupes de 5 alimentations
transistorisées - 5 A, 75 V

Photo 8

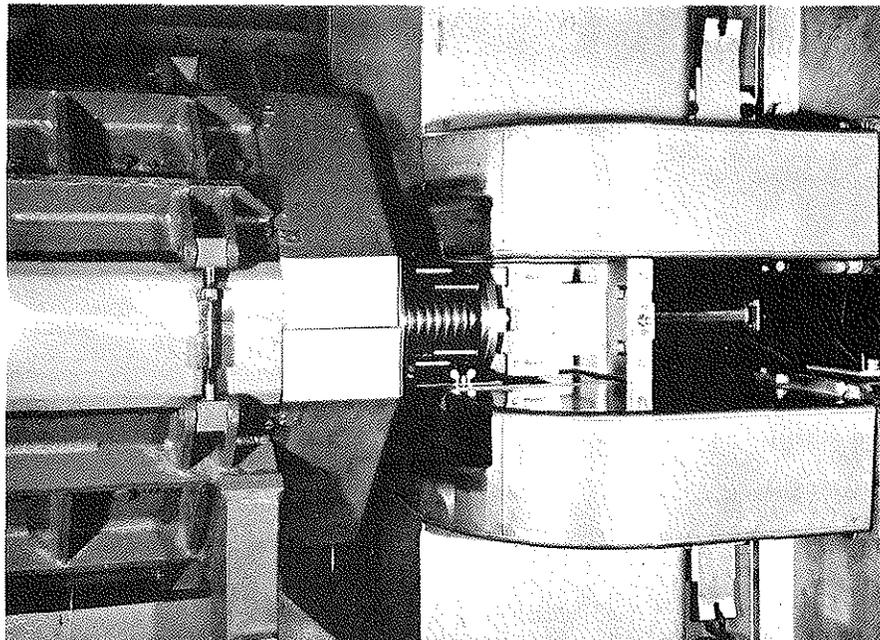
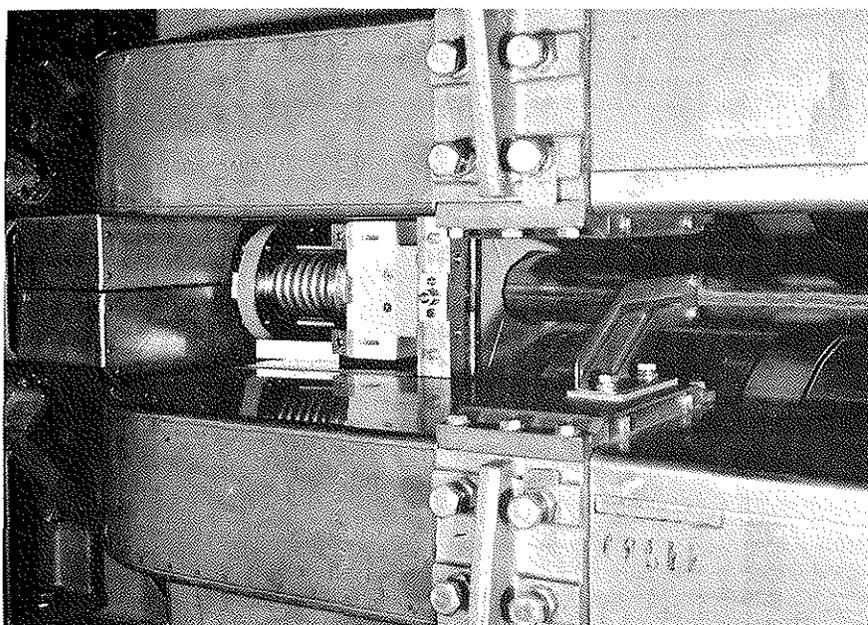


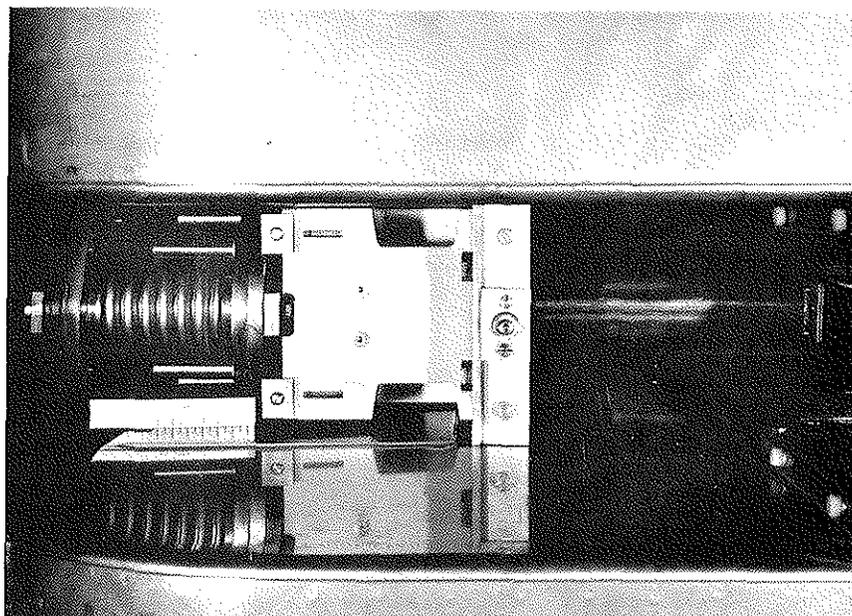
Photo 9

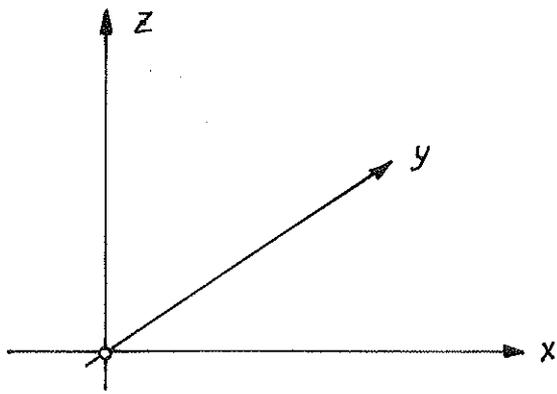


Photos 8, 9 et 10 :

Vues du quadrupôle d'injection placé entre les bobines principales d'une unité d'aimant

Photo 10





Trajectoire des protons

fig.1

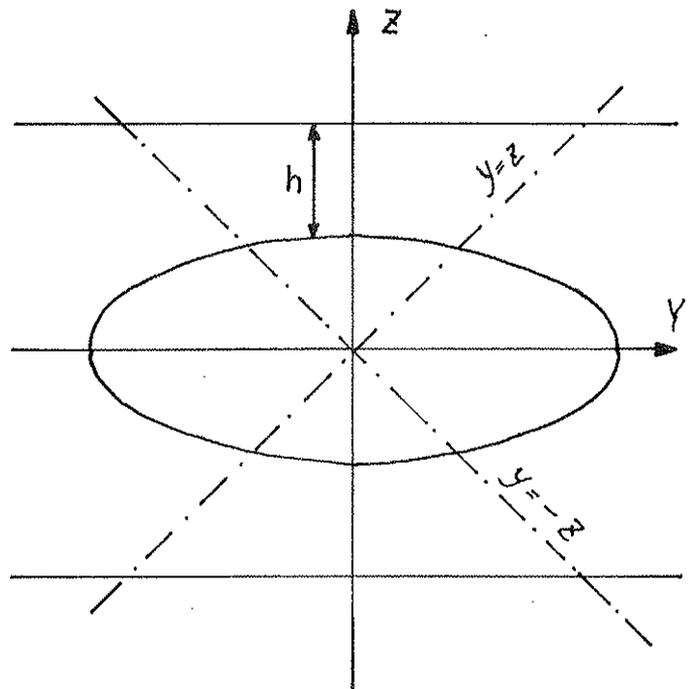


fig.2

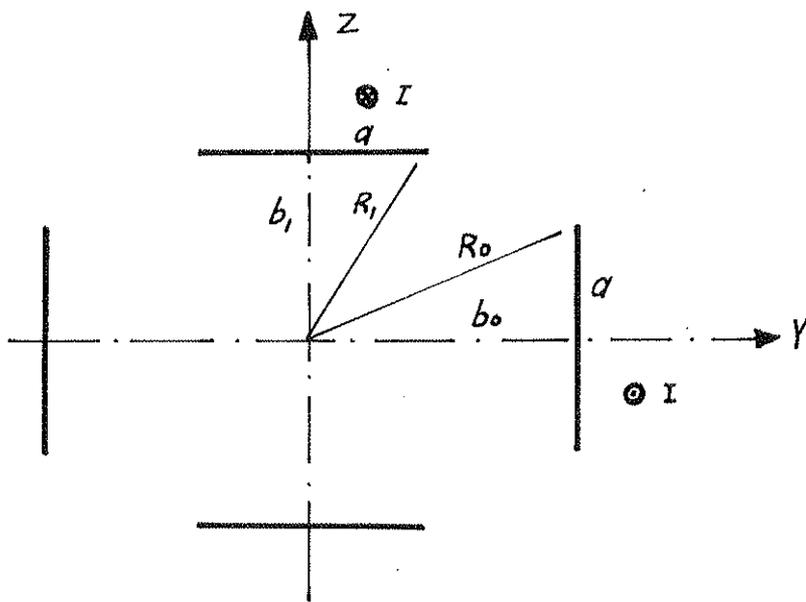


fig.3

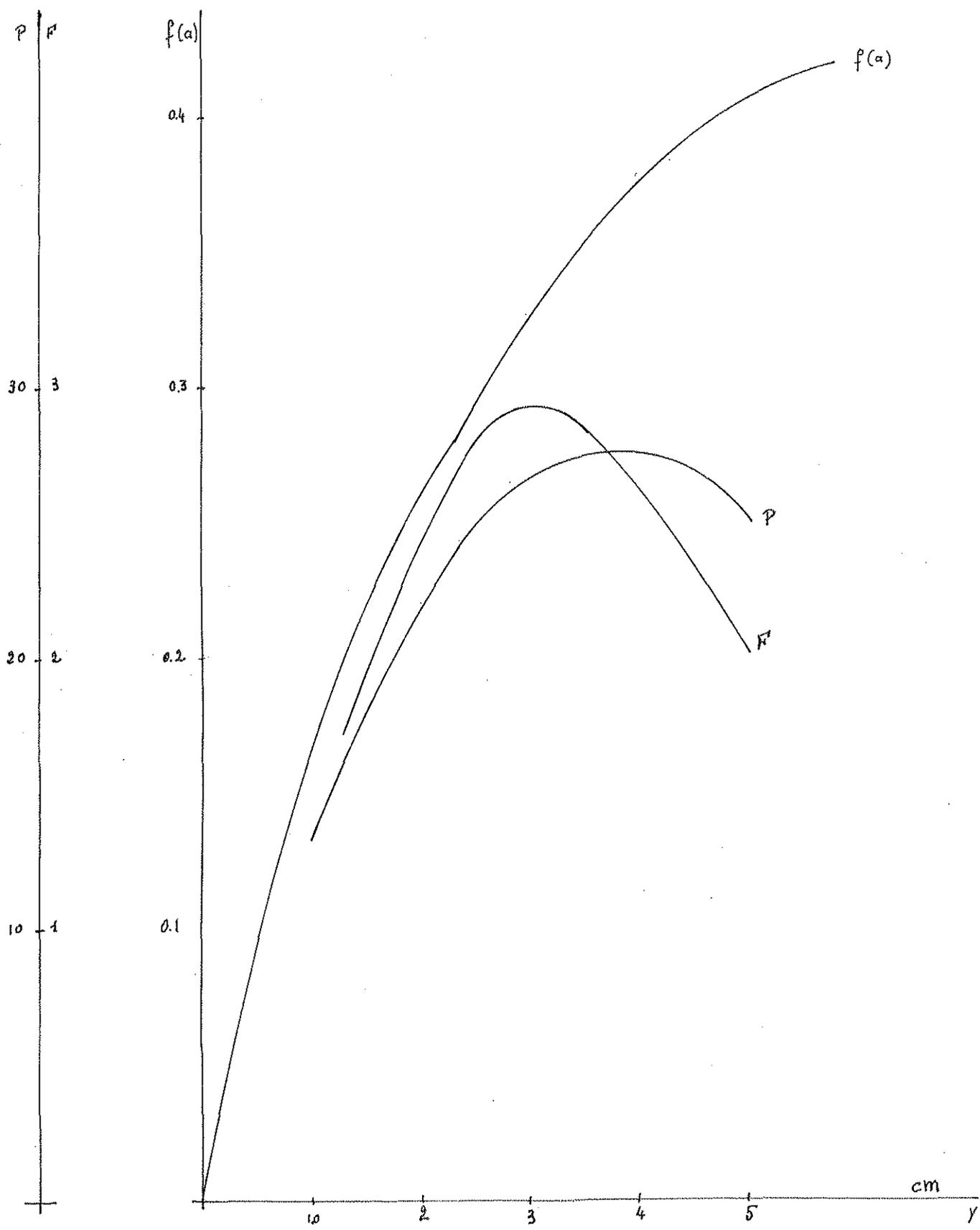


Fig. 4

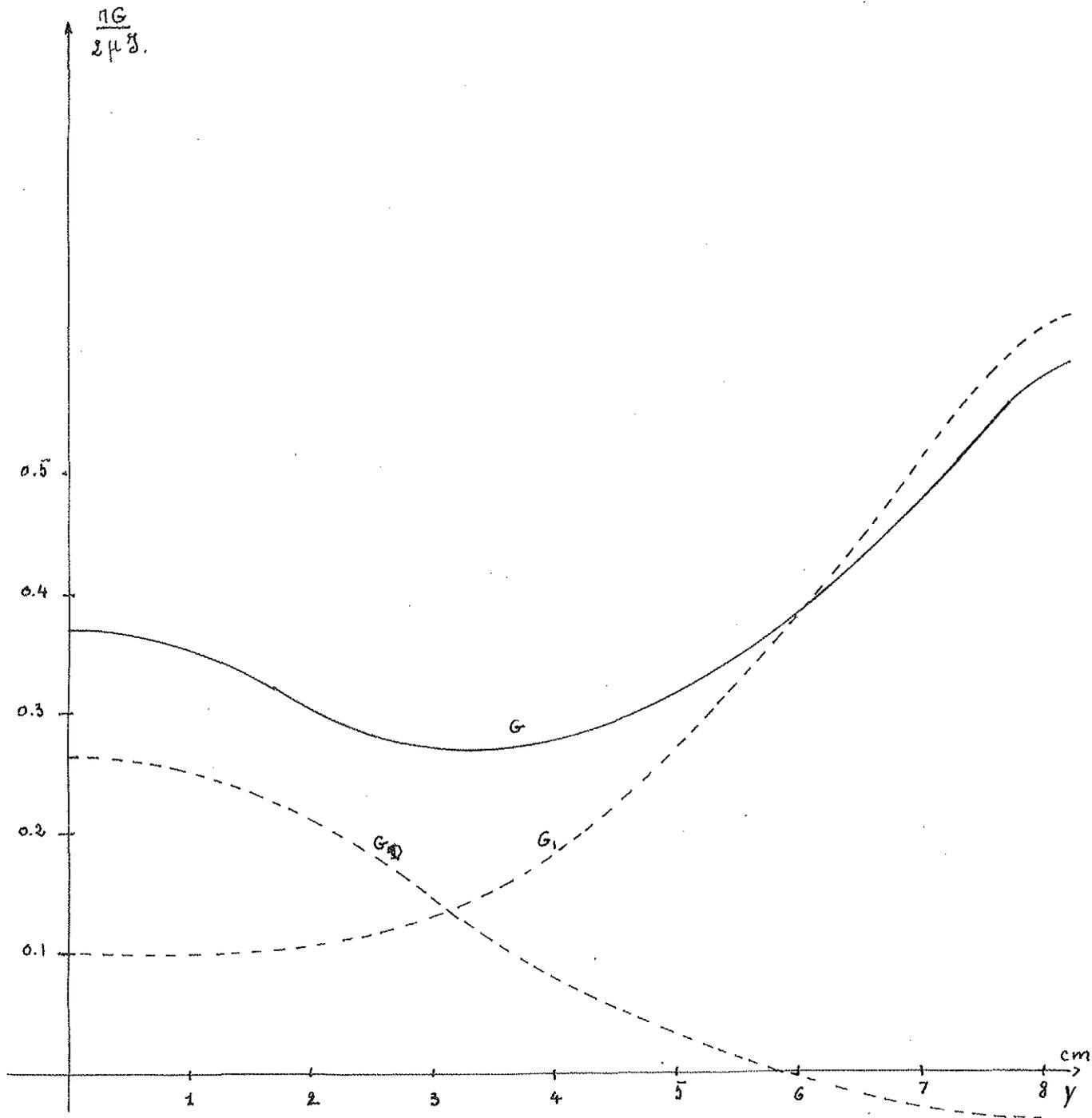


Fig. 5

LENTILLE QUADRUPOLAIRE D'INJECTION N° Prototype définitif

Date:.....

Resultats des mesures à 10Khz (mesures relatives à contrôler la linéarité)

R ohmique à 1A:.....1,55..... Ω

Z à 1A, 50Hz:.....env. 7..... Ω

Linéarité entre +7 et -7 = 14cm

L ≈:.....22..... mH

Z(cm) R(cm)	-3		-2		-1		0		+1		+2		+3	
	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
-7	-	-	254,6	85,8	254,6	36,3	253,5	3,4	252,6	43,6	248,7	93,2	-	-
-6	-	-	208,6	77,7	213,7	37,0	215,2	2,8	211,6	41,7	204,7	82,9	-	-
-5	161,5	101,9	171,3	70,6	175,9	35,0	177,6	2,5	174,3	38,2	168,4	74,0	156,9	105,3
-4	134,1	91,5	139,0	66,0	140,8	33,3	141,8	2,2	139,8	36,0	137,5	68,5	132,5	93,0
-3	112,5	95,9	107,8	66,1	106,9	33,2	107,2	2,3	106,4	35,3	107,2	68,6	112,3	98,5
-2	78,1	105,1	73,9	69,4	72,3	34,1	72,1	2,0	71,8	35,9	73,3	71,1	77,3	108,0
-1	38,6	109,1	37,2	71,6	36,4	35,2	36,2	2,0	36,2	36,1	36,9	73,1	37,6	111,3
0	2,8	110,8	2,4	72,8	2,2	35,6	2,3	1,7	2,3	37,0	2,5	74,1	2,8	111,5
+1	38,6	110,0	37,2	71,8	36,4	35,4	36,35	1,7	36,4	36,7	36,8	73,0	38,1	110,7
+2	78,2	106,6	73,9	69,7	72,4	34,4	72,3	1,7	72,2	35,5	73,7	70,6	78,3	107,0
+3	112,9	97,2	107,5	66,8	107,1	33,8	107,2	1,6	106,7	35,1	107,2	67,2	113,5	97,5
+4	133,3	92,6	138,2	66,9	140,0	34,1	142,0	1,8	140,1	35,2	137,7	66,8	134,3	90,2
+5	158,9	105,2	170,1	72,3	175,4	36,1	177,5	1,7	174,8	37,6	169,1	72,0	158,4	102,4
+6	-	-	207,1	80,8	213,6	38,8	215,3	1,9	212,5	40,6	205,3	80,7	-	-
+7	-	-	252,1	90,8	255,0	40,0	252,6	3,5	252,9	41,1	251,2	90,8	-	-

LEGENDE:

V: composante verticale en (mV)
 H: composante horizontale en (mV)
 Z: sens verticale
 R: sens horizontale
 GF: générat. de fréqu. Helwett Packard

TR: transfo 240/6,3V
 SH: shunt 1Ω, ±1%
 L: lentille
 BM: bobine de mesure d'environ 40 cm de long
 VD: volt. digital model 854 Electronic Instrument

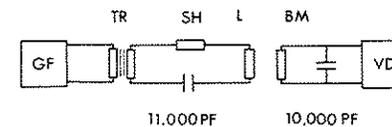
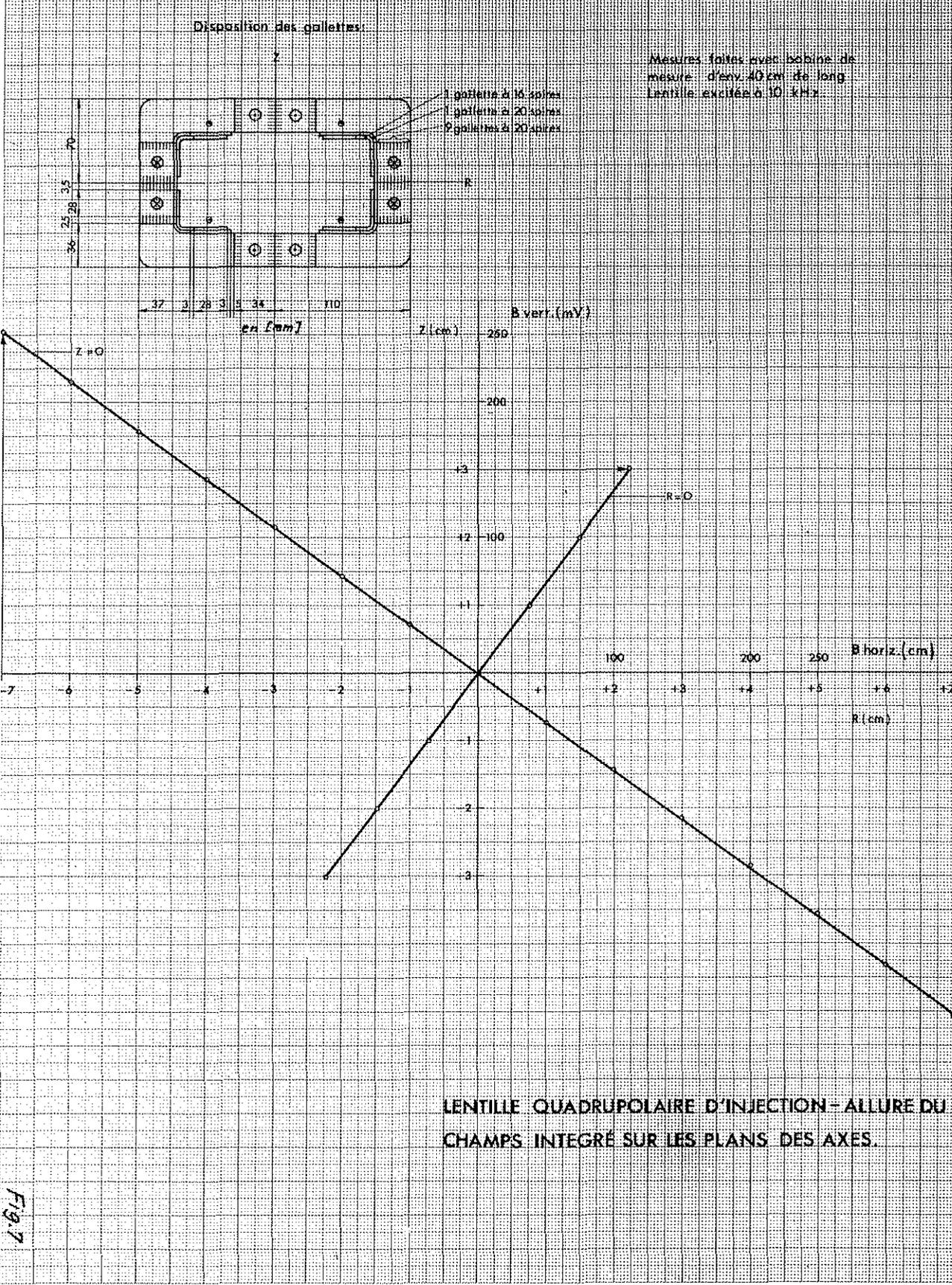
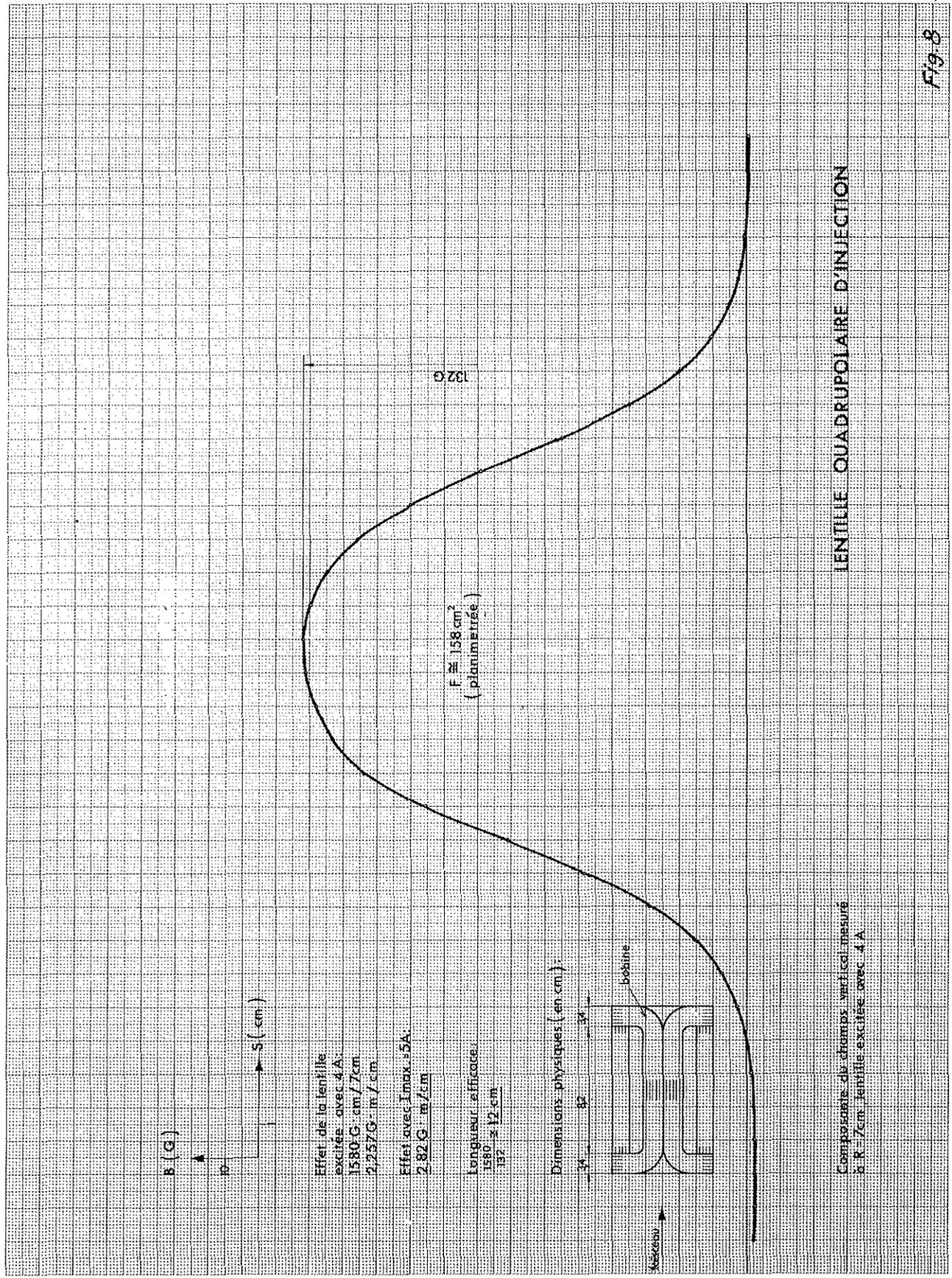


Fig. 6

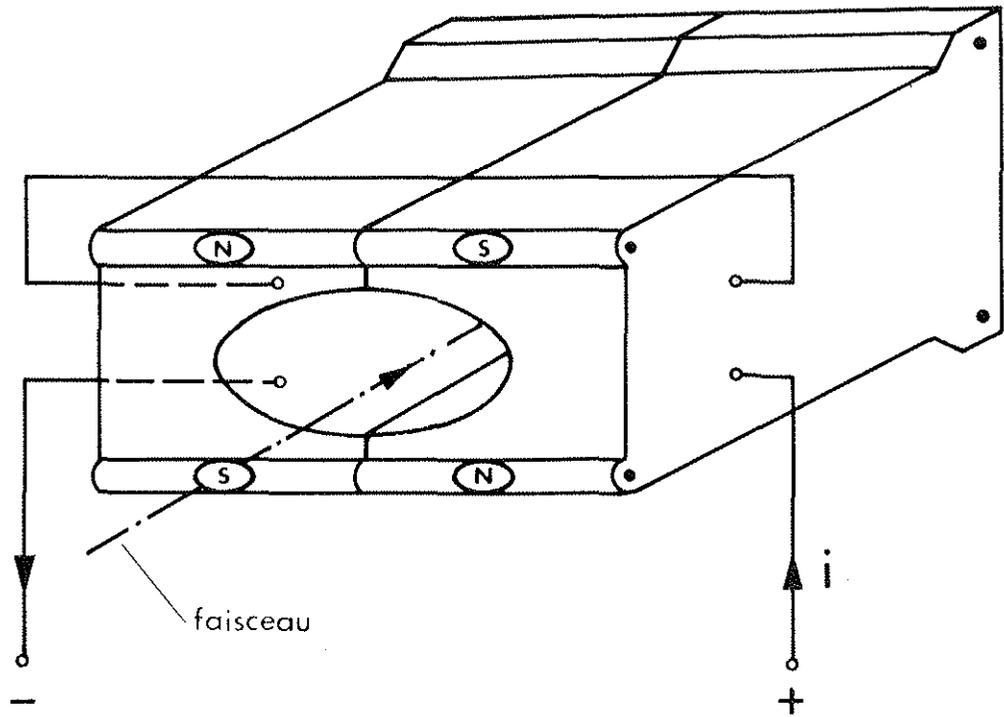




LENTILLE QUADRUPOLAIRE D'INJECTION

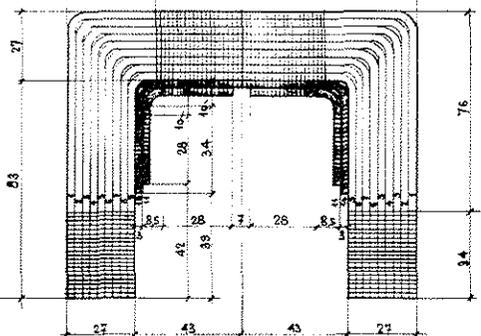
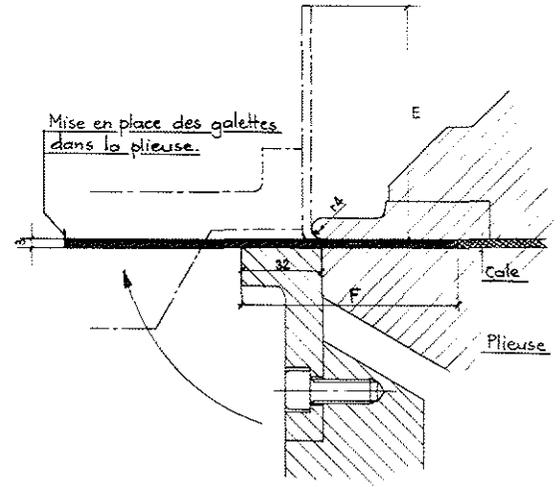
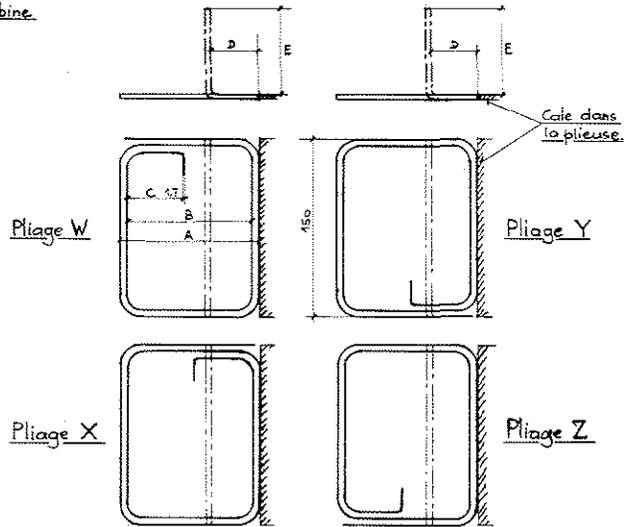
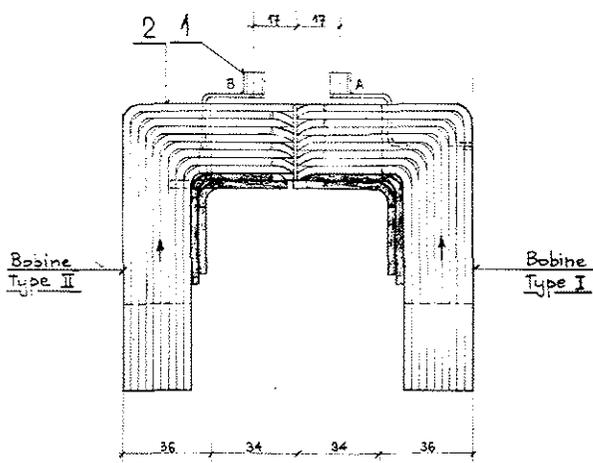
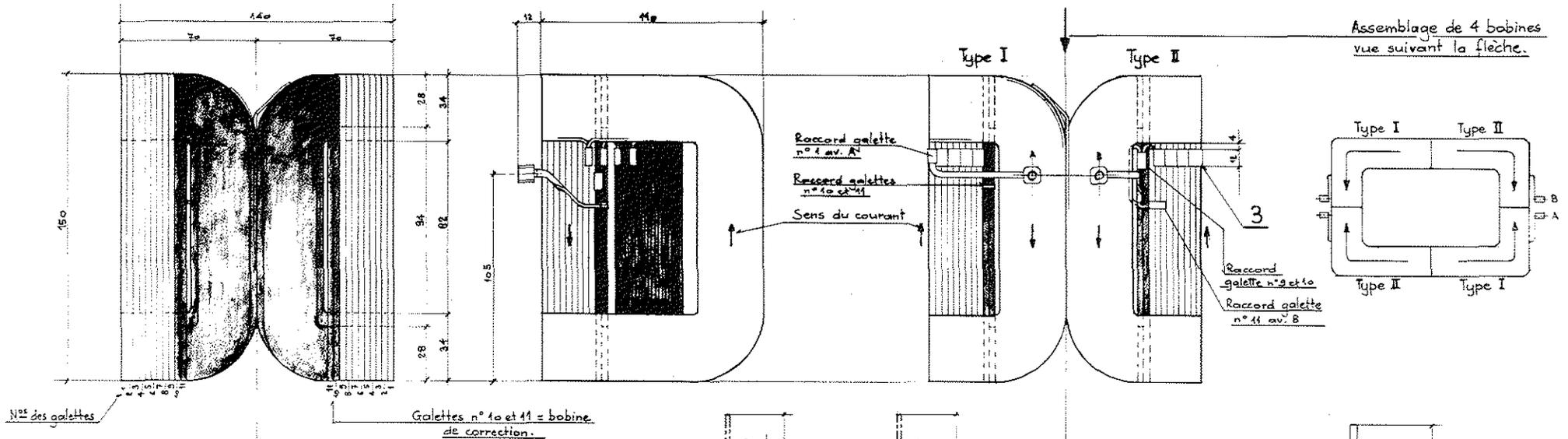
Fig. 8

REPUBLIQUE ALGERIENNE



POLARITÉ DES 50 LENTILLES
 QUADRUPOLAIRES D'INJECTION

Fig. 9



Galette n°	Bobine Type I										Bobine Type II													
	Pliage W					Pliage X					Pliage Y					Pliage Z								
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G			
1	174,5	166,5	58	67	107	95	148,5	140,5	30	64	104	92	176,5	168,5	50	67	107	95	-	-	-	-		
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	168,5	160,5	50	64	104	92
3	162,5	154,5	50	61	101	89	-	-	-	-	-	-	162,5	154,5	48	61	101	89	-	-	-	-		
4	-	-	-	-	-	-	150,5	142,5	48	58	98	86	-	-	-	-	-	-	150,5	142,5	48	58	98	86
5	140,5	132,5	48	55	95	83	-	-	-	-	-	-	140,5	132,5	40	55	95	83	-	-	-	-		
6	-	-	-	-	-	-	144,5	136,5	40	52	92	80	-	-	-	-	-	-	144,5	136,5	40	52	92	80
7	128,5	120,5	40	49	89	77	-	-	-	-	-	-	128,5	120,5	35	49	89	77	-	-	-	-		
8	-	-	-	-	-	-	132,5	124,5	35	46	86	74	-	-	-	-	-	-	132,5	124,5	35	46	86	74
9	116,5	108,5	35	43	83	71	-	-	-	-	-	-	116,5	108,5	50	43	83	71	-	-	-	-		
10	-	-	-	-	-	-	110,5	102,5	-	40	41	68	-	-	-	-	-	-	110,5	102,5	-	40	41	68
11	49	49	-	33,5	35	68	-	-	-	-	-	-	49	49	-	33,5	35	68	-	-	-	-		

Schéma 118-74-3

Fig. 10

10	Douille $\phi 5/4,5$	10, 12, 3	Cu		
1	Fil $\square 2,56 \times 1,65$	2	Carisole	10	selon besoin
2	Ecras	1	Lt		dessin 118-84-4

Matériau	Designation	Pos.	Matière	Paillé	Observations
1	2,56 x 1,65	2	Carisole	10	selon besoin
2	Ecras	1	Lt		dessin 118-84-4

Matériau: 118-75-1 S. Composé

Lentille quadrupol d'injection

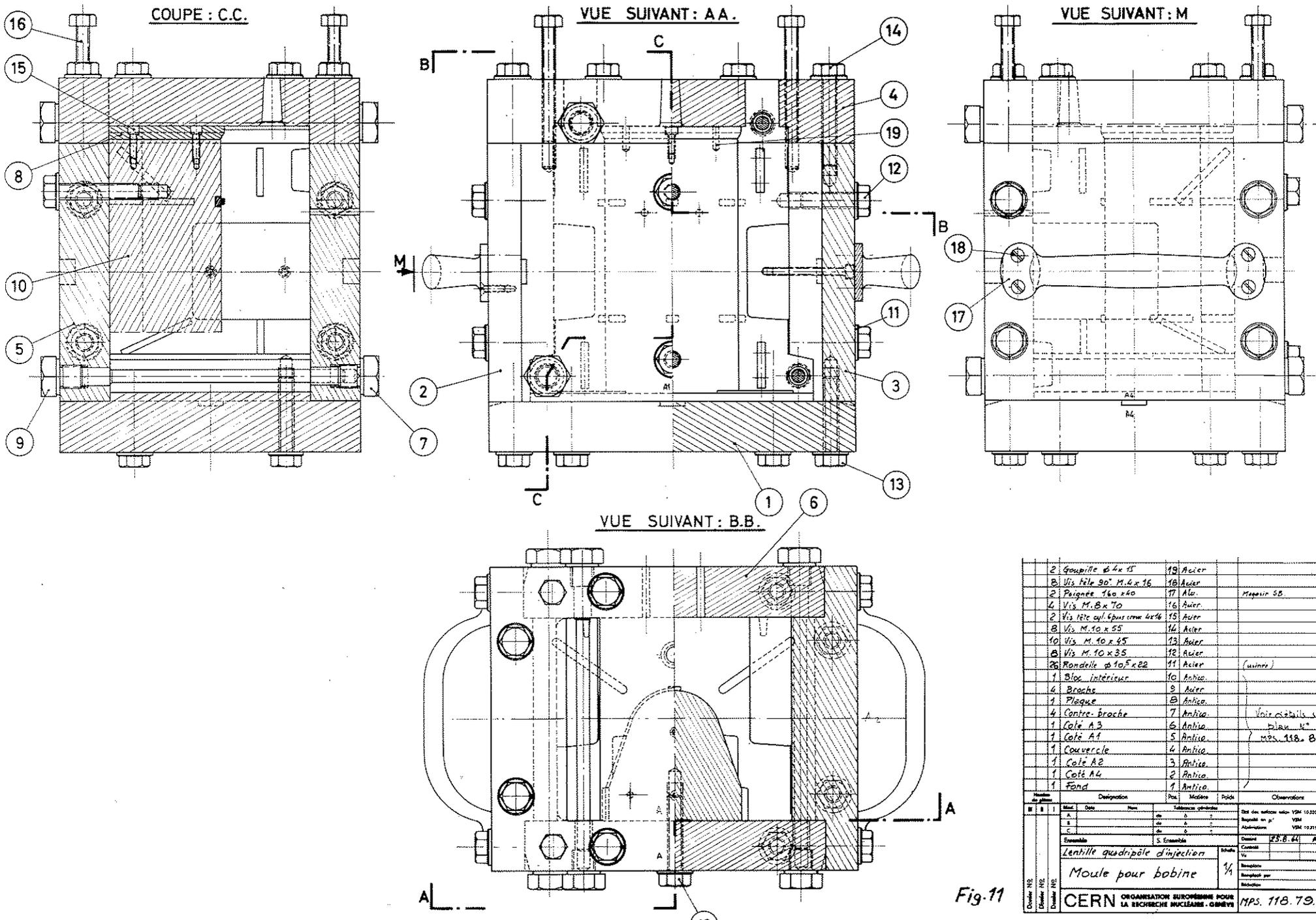
Pr. ch. à vide normale

Enroulement 1/2 lentille.

CERN OBSERVATOIRE EUROPEEN POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE - GENÈVE

118-75-1 A

082871/VI/RSIS

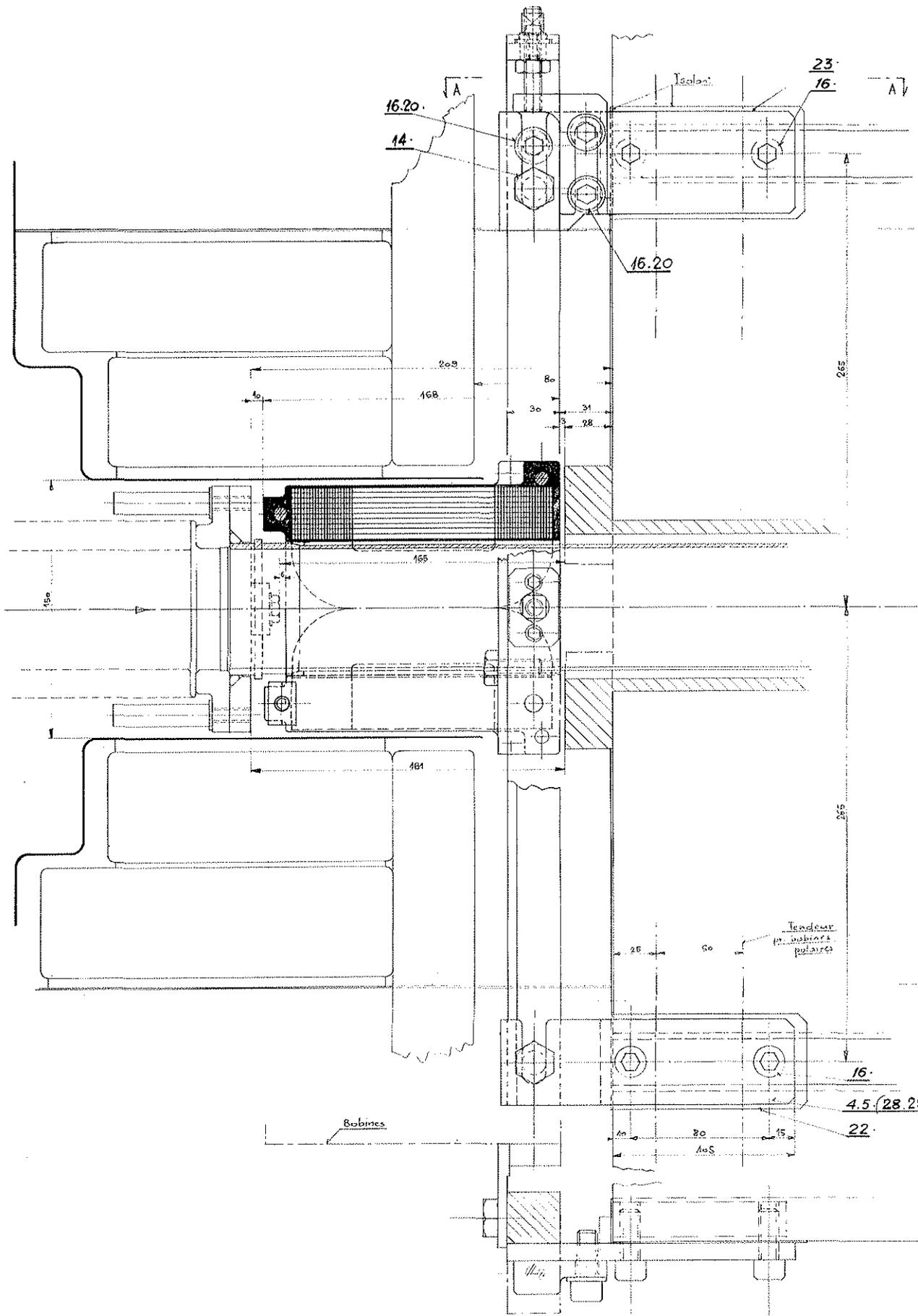


2	Goupille $\varnothing 4 \times 15$	19	Acier	
B	Vis tête 90° M.4 x 16	18	Acier	
2	Pointe 160 x 40	17	Alu.	Magneur SB
4	Vis M.8 x 70	16	Acier	
2	Vis tête cyl. épous crans 4x16	15	Acier	
B	Vis M.10 x 55	14	Acier	
10	Vis M.10 x 45	13	Acier	
B	Vis M.10 x 35	12	Acier	
20	Rondelle $\varnothing 10 \times 22$	11	Acier	(usinés)
1	Bloc intérieur	10	Antise	
4	Broche	9	Acier	
1	Plaque	8	Antise	
4	Contre-broche	7	Antise	
1	Cote A3	6	Antise	Voir détails sur "Blanc N°" mes. 118. 83..0
1	Cote A1	5	Antise	
1	Couvercle	4	Antise	
1	Cote A2	3	Antise	
1	Cote A4	2	Antise	
1	Fond	1	Antise	

Numéro	Designation	Pcs	Matéria	Poids	Observations
1	Blanc				
2	Blanc				
3	Blanc				
4	Blanc				
5	Blanc				
6	Blanc				
7	Blanc				
8	Blanc				
9	Blanc				
10	Blanc				
11	Blanc				
12	Blanc				
13	Blanc				
14	Blanc				
15	Blanc				
16	Blanc				
17	Blanc				
18	Blanc				
19	Blanc				
20	Blanc				

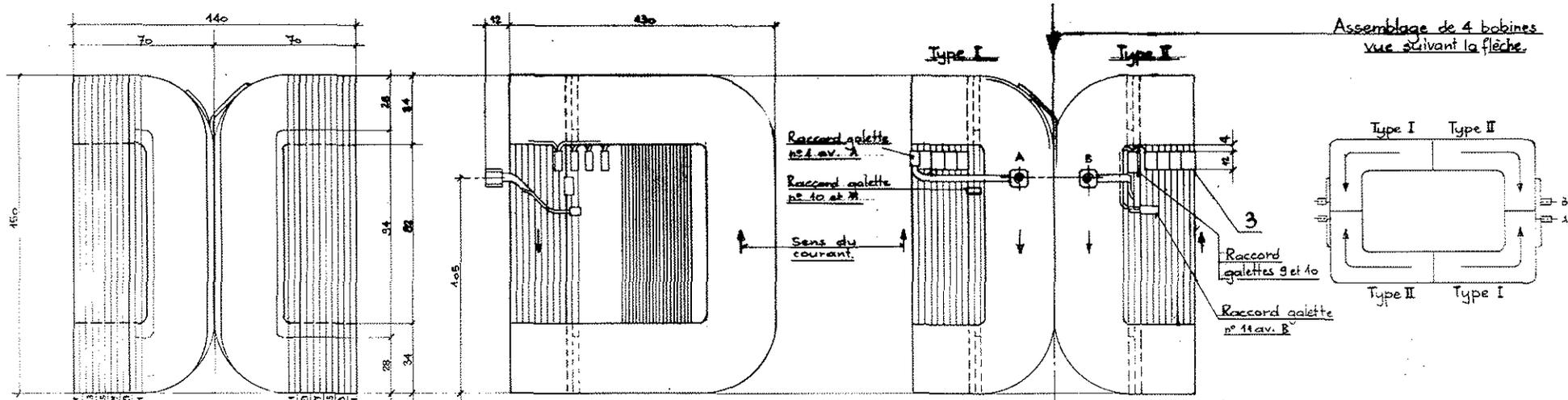
Bl	B	I	Mat	Date	Nom	Salaires	généralité	Etat des services
	A							Etat des services selon VSM 10320
	B							Requisit no 21 VSM
	C							Abonnement VSM 10315
Ensemble								Dessiné 125.B.41 A.D.
S. Ensemble								Contrat
Lenhille quadripôle d'injection								Vi
Moule pour bobine								1/4
CERN ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE - GENEVE								MPS. 118. 79.1

Fig-11



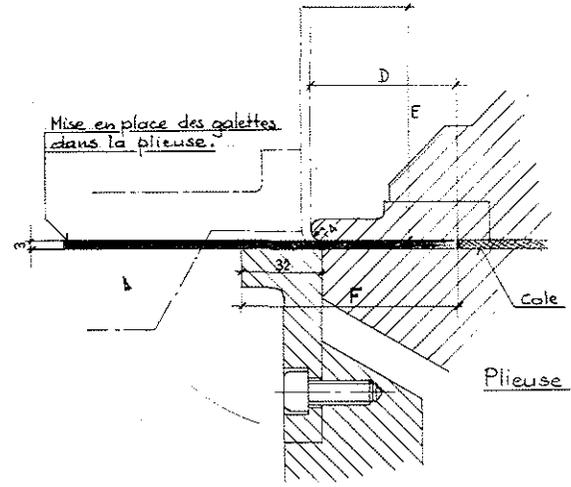
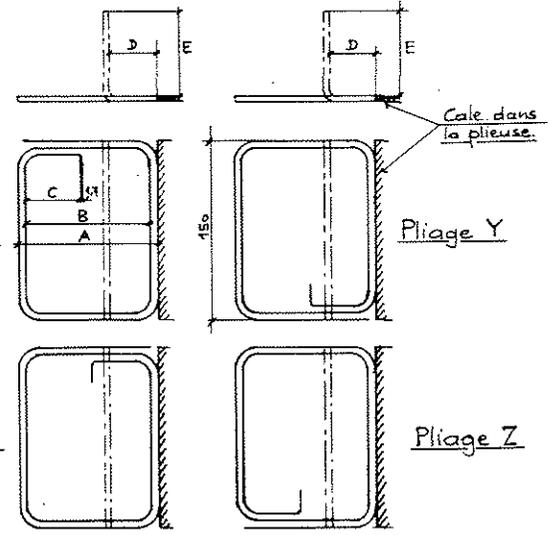
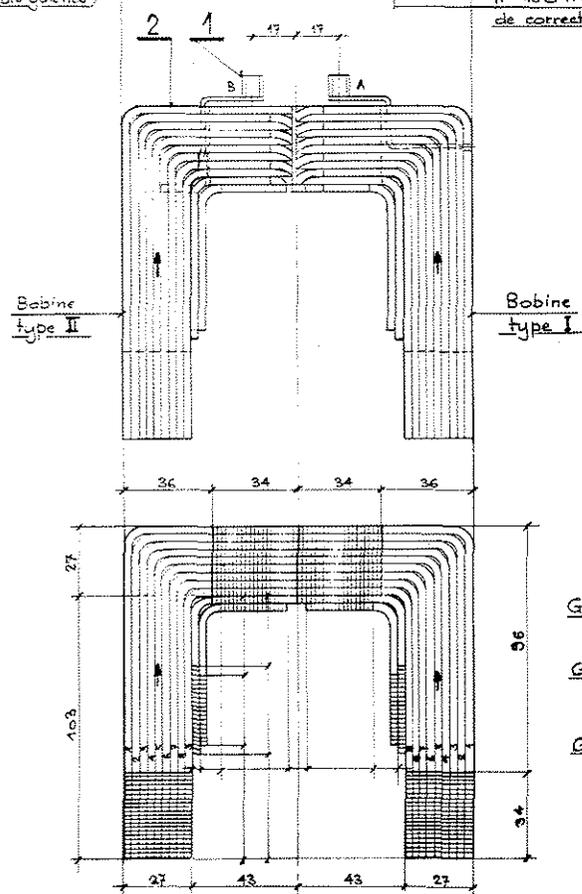
Coupe A:A

BRNO/7/518



Assemblage de 4 bobines
vue suivant la flèche.

N° des galettes
N° 10 et 11 = bobine de correction.



Galettes n° 1 à 9 = 20 spires
Galette n° 10 =
Galette n° 11 =

Galette n°	Bobine type I										Bobine type II														
	Pliage W					Pliage X					Pliage Y					Pliage Z									
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E					
1	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-
3	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-
5	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-
7	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-
9	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	104	124	118	127	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Schéma 118-74-3

Fig-13

Matériau	Designation	Pos.	Matériau	Pos.	Observations
12	Douille $\phi 5/4,5$ lg. 12	3	Cu		
1	Fil $\phi 2,36 \times 4,5$	2	Caïsoïl		lg. selon besoin
2	Ecrou	1	L7		dessin 118-84-4

Matériau	Designation	Pos.	Matériau	Pos.	Observations
1	118-83-1	2	118-83-1	2	
lentille quadripol. d'infection Pr. ch. à vide élargie					
Enroulement 1/4 lentille					

CERN ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE - BRNO 118-104-1

Section d'une bobine
Ech. 2/1

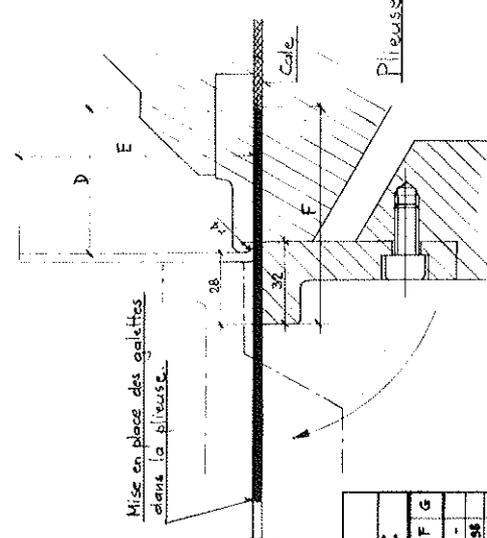
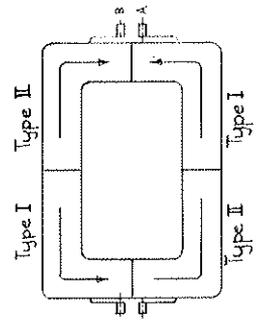
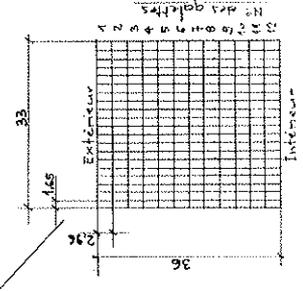
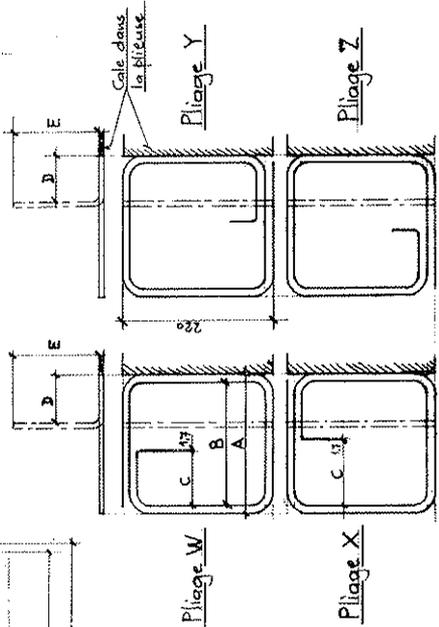
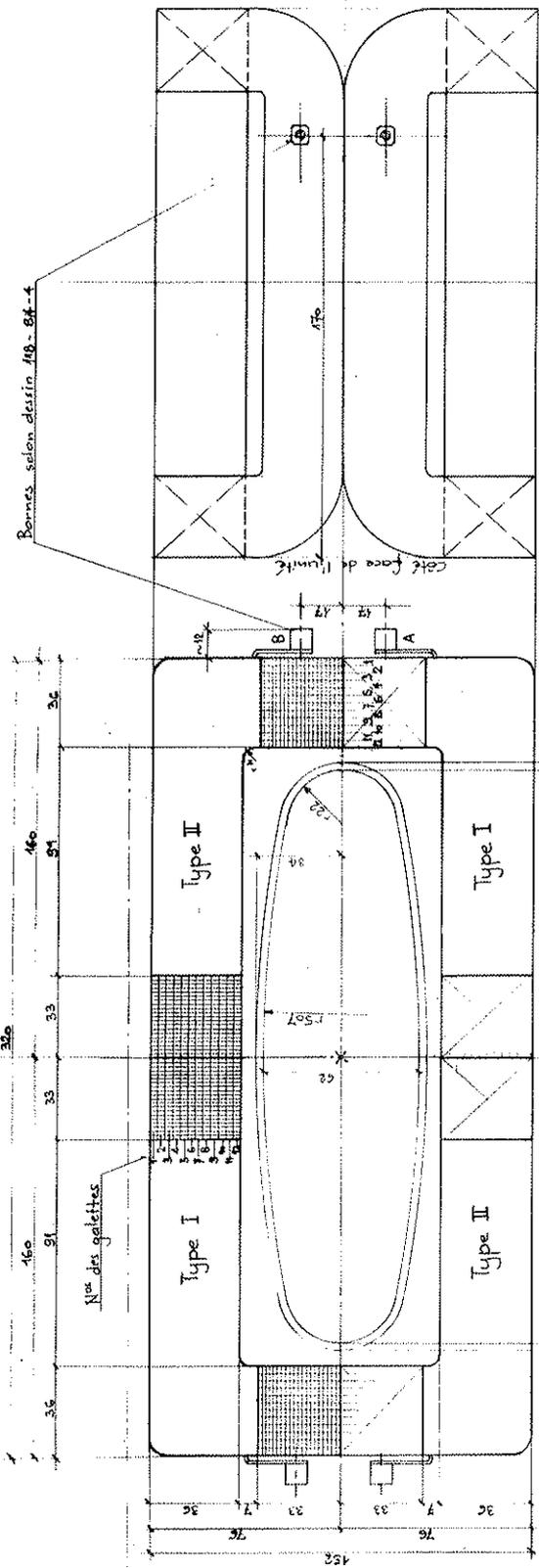


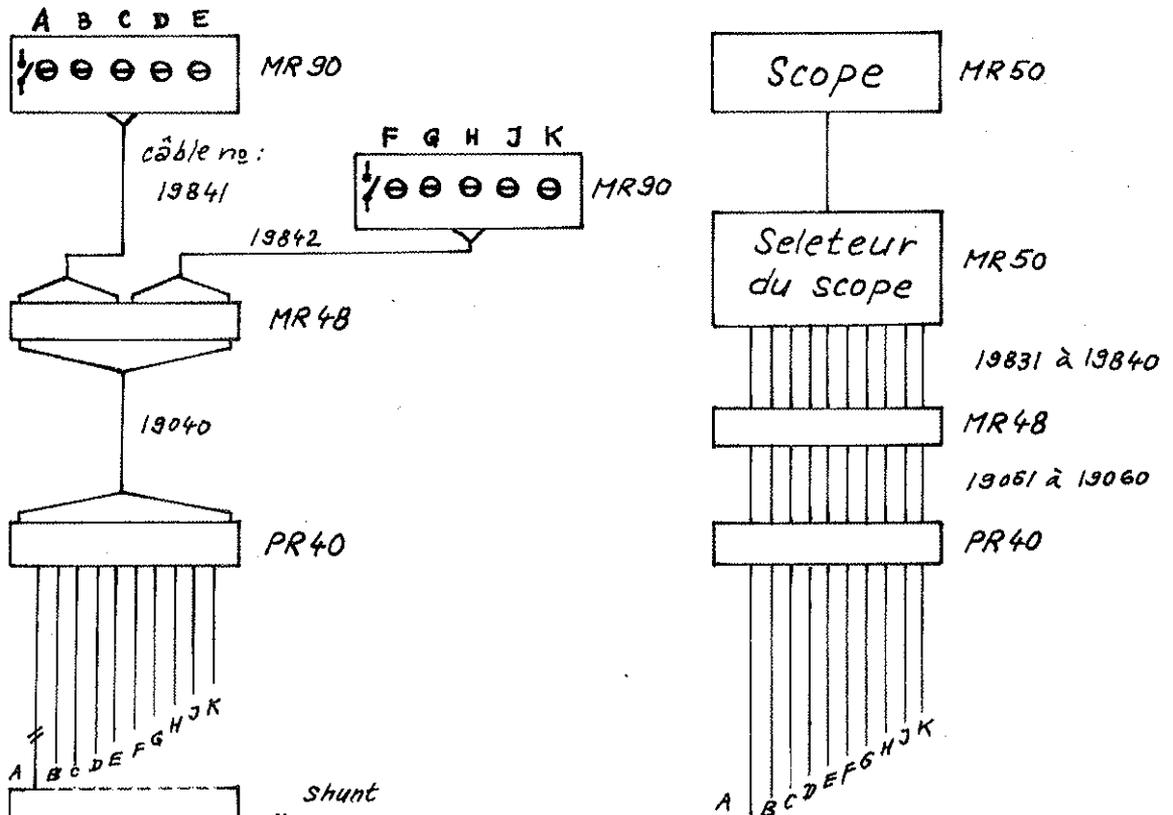
Fig. 14

Description		Unité	Quantité	Matériau	Observations
1	Bobine	kg	1	Alu	
2	Bobine	kg	1	Alu	
3	Bobine	kg	1	Alu	
4	Bobine	kg	1	Alu	
5	Bobine	kg	1	Alu	
6	Bobine	kg	1	Alu	
7	Bobine	kg	1	Alu	
8	Bobine	kg	1	Alu	
9	Bobine	kg	1	Alu	
10	Bobine	kg	1	Alu	
11	Bobine	kg	1	Alu	
12	Bobine	kg	1	Alu	
13	Bobine	kg	1	Alu	
14	Bobine	kg	1	Alu	
15	Bobine	kg	1	Alu	
16	Bobine	kg	1	Alu	
17	Bobine	kg	1	Alu	
18	Bobine	kg	1	Alu	
19	Bobine	kg	1	Alu	
20	Bobine	kg	1	Alu	
21	Bobine	kg	1	Alu	
22	Bobine	kg	1	Alu	
23	Bobine	kg	1	Alu	
24	Bobine	kg	1	Alu	
25	Bobine	kg	1	Alu	
26	Bobine	kg	1	Alu	
27	Bobine	kg	1	Alu	
28	Bobine	kg	1	Alu	
29	Bobine	kg	1	Alu	
30	Bobine	kg	1	Alu	
31	Bobine	kg	1	Alu	
32	Bobine	kg	1	Alu	
33	Bobine	kg	1	Alu	
34	Bobine	kg	1	Alu	
35	Bobine	kg	1	Alu	
36	Bobine	kg	1	Alu	
37	Bobine	kg	1	Alu	
38	Bobine	kg	1	Alu	
39	Bobine	kg	1	Alu	
40	Bobine	kg	1	Alu	
41	Bobine	kg	1	Alu	
42	Bobine	kg	1	Alu	
43	Bobine	kg	1	Alu	
44	Bobine	kg	1	Alu	
45	Bobine	kg	1	Alu	
46	Bobine	kg	1	Alu	
47	Bobine	kg	1	Alu	
48	Bobine	kg	1	Alu	
49	Bobine	kg	1	Alu	
50	Bobine	kg	1	Alu	
51	Bobine	kg	1	Alu	
52	Bobine	kg	1	Alu	
53	Bobine	kg	1	Alu	
54	Bobine	kg	1	Alu	
55	Bobine	kg	1	Alu	
56	Bobine	kg	1	Alu	
57	Bobine	kg	1	Alu	
58	Bobine	kg	1	Alu	
59	Bobine	kg	1	Alu	
60	Bobine	kg	1	Alu	
61	Bobine	kg	1	Alu	
62	Bobine	kg	1	Alu	
63	Bobine	kg	1	Alu	
64	Bobine	kg	1	Alu	
65	Bobine	kg	1	Alu	
66	Bobine	kg	1	Alu	
67	Bobine	kg	1	Alu	
68	Bobine	kg	1	Alu	
69	Bobine	kg	1	Alu	
70	Bobine	kg	1	Alu	
71	Bobine	kg	1	Alu	
72	Bobine	kg	1	Alu	
73	Bobine	kg	1	Alu	
74	Bobine	kg	1	Alu	
75	Bobine	kg	1	Alu	
76	Bobine	kg	1	Alu	
77	Bobine	kg	1	Alu	
78	Bobine	kg	1	Alu	
79	Bobine	kg	1	Alu	
80	Bobine	kg	1	Alu	
81	Bobine	kg	1	Alu	
82	Bobine	kg	1	Alu	
83	Bobine	kg	1	Alu	
84	Bobine	kg	1	Alu	
85	Bobine	kg	1	Alu	
86	Bobine	kg	1	Alu	
87	Bobine	kg	1	Alu	
88	Bobine	kg	1	Alu	
89	Bobine	kg	1	Alu	
90	Bobine	kg	1	Alu	
91	Bobine	kg	1	Alu	
92	Bobine	kg	1	Alu	
93	Bobine	kg	1	Alu	
94	Bobine	kg	1	Alu	
95	Bobine	kg	1	Alu	
96	Bobine	kg	1	Alu	
97	Bobine	kg	1	Alu	
98	Bobine	kg	1	Alu	
99	Bobine	kg	1	Alu	
100	Bobine	kg	1	Alu	



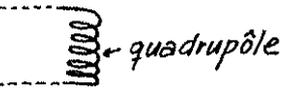
Z	Bobine Type I										Bobine Type II																	
	Pilage W					Pilage X					Pilage Y					Pilage Z												
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G
1	20	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
2	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
3	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
4	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
5	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
6	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
7	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
8	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
9	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
10	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
11	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
13	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
14	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
18	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
19	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
20	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Gailettes N° 1 à 12 = 20 spires
Spires par bobine = 18 x 20 x 240 sp.



Convention: Pour les polarités indiquées les 4F focalisent et les 4D défocalisent dans le plan horiz.

4F					4D				
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
+	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3	7	11	15	19	4	8	12	16	20
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
23	27	31	35	39	24	28	32	36	40
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
43	47	51	55	59	44	48	52	56	60
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
63	67	71	75	79	64	68	72	76	80
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
83	87	91	95	99	84	88	92	96	100
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o



Liaisons entre tableau de branchement des quadrupôles, alimentations et châssis de commande.

Fig.16