

A : Liste de distribution

PS/ML/Note 77-6

concerne :

1er juin 1977

CHAMBRES A VIDE ELARGIES DES AIMANTS MCA ET MCV
ET CONNEXIONS RECTANGULAIRES, RAPIDES DE LA ZONE CIBLES OUEST

corrections à apporter :

page 8 § 2 Description du joint
et Fig. 17

support de joint en Al 99.5, mi-dur,
à remplacer par

support de joint en Antico 100 trempé revenu (dur)

/nc

PS/ML/Note 77-6

1er juin 1977

CHAMBRES A VIDE ELARGIES DES AIMANTS MCA ET MCW
ET CONNEXIONS RECTANGULAIRES, RAPIDES DE LA ZONE CIBLES OUEST

H. Stucki

TABLE DES MATIERES

- I. INTRODUCTION
- II. CONDITIONS EXIGEES ET ASPECTS DES PRINCIPALES DIFFICULTES
 1. Les conditions exigées
 2. Principales difficultés
- III. CHAMBRE A VIDE MCA ELARGIE
 1. Calcul préliminaire de la section
 2. Définition de la section transversale de la chambre à vide avec suspension intermédiaire
 3. Essais et commentaires des résultats
- IV. CHAMBRES A VIDE ELARGIES MCW
 1. Calcul préliminaire de la section
 2. Définition de la section transversale de la chambre avec suspension intermédiaire
- V. SUSPENSION ET MONTAGE DES CHAMBRES
 1. Fixation des chambres MCA
 2. Fixation des chambres MCW
 - a. Calcul des contraintes de la sangle d'accrochage
 - b. Détermination de l'allongement de la sangle d'accrochage
 - c. Remarques
- VI. CONNEXION RECTANGULAIRE RAPIDE
 1. Introduction
 2. Description du joint
 3. Description de la connexion
- VII. REMERCIEMENTS
- REFERENCES

- ANNEXES
1. PLAN D'OPERATION DE MONTAGE DES CHAMBRES A VIDE SUR LES AIMANTS
 - 1.1 Chambre à vide MCA
 - 1.2 Chambre à vide MCW
2. PRESCRIPTION POUR L'INSTALLATION OU L'ENLEVEMENT DES UNITES D'AIMANT
3. PLAN DE FABRICATION
- LISTE DE DESSINS

I. INTRODUCTION

Les expériences de 200 GeV prévues dans la zone d'expérimentation ouest imposent pour la région des cibles, faisceaux E1/H3 et H3, fig. 1, la construction de trois chambres à vide MCW, fig. 2, et de cinq chambres à vide MCA, fig. 3, de forme exceptionnelle, et de connexions rapides spéciales. Ce rapport donne une description de la conception et des calculs qui ont permis de satisfaire les conditions exigées.

II. CONDITIONS EXIGÉES ET ASPECTS DES PRINCIPALES DIFFICULTÉS

1. Les conditions exigées

- Pour contenir les trajectoires de particules, les chambres à vide MCA doivent avoir une ouverture horizontale de 584 à 624 mm et une hauteur verticale minimum de 62 mm ; les chambres à vide MCW doivent avoir une ouverture de 265/660 mm dans le plan horizontal et une hauteur minimum de 50 mm.
- La forte contamination par les radiations derrière la région des cibles et les dégâts qui en résultent nécessitent des unités d'aimant rapidement interchangeables. En d'autres termes, chacune des chambres à vide spéciales faisant partie de ces aimants doit être pourvue d'une connexion rapide.
- Le taux de fuite de ces chambres et des connexions rapides spéciales doit être réduit au minimum, une construction réalisée selon les règles de l'ultra vide est donc indispensable.

2. Principales difficultés

Du fait d'une hauteur disponible dans l'entrefer des aimants insuffisante pour permettre la réalisation d'une structure auto-portante (la chambre ne s'écrasant pas sous l'action de la pression externe) la seule possibilité est de suspendre les chambres par des attaches qui traversent l'espace libre entre les corps d'aimant et les bobines. Si les aimants MCA laissent suffisamment d'espace libre pour les attaches, fig. 4, les aimants MCW par contre ne laissent que très peu de place, fig. 5, ce qui conduit à solliciter le matériau avec des contraintes relativement élevées et de ce fait implique des coefficients de sécurité très bas.

L'épaisseur des chambres à vide, limitées d'un côté par l'entrefer des aimants et de l'autre par l'ouverture demandée par les expérimentateurs, est à réaliser dans des tolérances de fabrication sévères.

III. CHAMBRE A VIDE MCA ELARGIE

1. Calcul préliminaire de la section

Vu la valeur du rapport L/H de $47 > 5$ (L=longueur de la chambre = 3300 mm, H=plus petite largeur transversale = 70 mm), l'effet raidisseur des fonds est inexistant dans notre cas. Une étude d'état de contrainte bi-dimensionnelle est donc nécessaire. Une étude selon la méthode de calcul de Brianti-Schindl, Programme CORRUG ¹⁾, et un calcul utilisant le programme ARNAUD, chambre hippodrome ²⁾ ont donné aux points MIN et MAJ, fig. 6, des contraintes maximales extérieures et intérieures de :

$$\sigma \text{ MIN ext.} = -27,97 \text{ da N/mm}^2$$

$$\sigma \text{ MIN int.} = +27,85 \text{ da N/mm}^2$$

$$\sigma \text{ MAJ ext.} = 45,44 \text{ da N/mm}^2$$

$$\sigma \text{ MAJ int.} = -46,45 \text{ da N/mm}^2$$

utilisant un module d'élasticité de $E = 19000 \text{ da N/mm}^2$. La flèche totale calculée à l'axe mineur est de $\sim 11 \text{ mm}$ (donc ouverture verticale sous vide $64-22 = 42 \text{ mm}$). Ces contraintes et flèches trop élevées (matière choisie, acier inoxydable AISI 316 LN), nous ont dicté une solution avec une suspension intermédiaire prenant en charge une partie des efforts.

2. Définition de la section transversale de la chambre à vide avec suspension intermédiaire

Afin de connaître les contraintes et la déformation dues à la pression atmosphérique uniforme externe pour une chambre suspendue les cas de charge selon fig. 7 ont été choisis. Le secteur 2 a été calculé par la méthode classique des poutres courbes. La place disponible permettait de choisir le nombre et la dimension des renforts nécessaires en vue de réduire les contraintes et flèches à des valeurs admissibles. Le secteur 1 a été étudié d'abord en considérant la partie plate comme une poutre d'épaisseur constante encastrée aux deux extrémités et soumise à une pression uniforme, et ensuite un quart de la section a été isolé et le calcul selon la méthode Bargmann/Marti ³⁾, a permis de déterminer les contraintes dans cette partie de la chambre.

Après itération des calculs les dimensions du profil, indiquées dans la fig. 7, ont été fixées. Cette analyse, à l'aide des différents programmes de calcul disponibles ne permettait toutefois pas de calculer la déformation des chambres suspendues. Pour combler cette lacune un nouveau programme de calcul plus général pour les chambres à vide suspendues ⁴⁾ a été établi. Les résultats obtenus selon ce dernier programme sont : contraintes maximales

$$\phi = \pi/2 \quad \sigma_0 = 8,874 \text{ da N/mm}^2 \quad \sigma_1 = -8,99 \text{ da N/mm}^2$$

et la flèche maximale

$$\phi = 0,2574 \text{ rad} \quad \text{flèche } f_{\max} = 0,34 \text{ mm (pour résultats détaillés voir fig. 8)}$$

3. Essais et commentaires des résultats

Des mesures ont été réalisées à l'aide d'un dispositif d'essai, fig. 9. Ce dispositif a permis de tester non seulement les deux types de chambre MCA et MCW, mais également leurs sangles de suspension. Afin d'éliminer l'influence de la flexion du dispositif d'essai, due aux forces transmises par la chambre sous vide, un resserrage des vis des sangles de suspension jusqu'à la mise à zéro des comparateurs, situés sur les rails près des attaches, a été effectué.

Les contraintes mesurées à quelques endroits à l'aide de jauges de contraintes sont données dans la fig. 10. La contrainte maximale trouvée est au point de mesure,

$$\text{Pt. 4} \quad \phi = 0,134 \text{ rad} \quad \sigma = 5,91 \text{ da N/mm}^2$$

et les flèches mesurées à l'aide de comparateurs sont portées sur la fig. 11. La flèche maximale mesurée dans la partie centrale de la chambre au point C2 a la valeur de 0,33 mm.

La flèche maximum mesurée se situe au point P4, à l'extrémité côté soufflet, flèche de 1 mm, ce qui est la limite encore acceptable.

Les contraintes et flèches calculées à l'aide du programme SUVAC ⁴⁾ de la fig. 8 correspondent assez bien aux valeurs mesurées. Néanmoins, le programme établi pour les poutres courbes minces, néglige l'influence des efforts normaux et tranchants et peut donner de ce fait un certain écart entre les contraintes et flèches mesurées et calculées.

L'asymétrie de la chambre entre le secteur 1 et le secteur 2 et la suspension intermédiaire, réalisée d'une façon discontinue, peuvent également influencer les résultats. En plus, l'uniformité de l'épaisseur de la paroi de la chambre fabriquée n'a pas été contrôlée.

En conclusion on peut dire, que les résultats obtenus avec le programme SUVAC avec la géométrie relativement compliquée de la chambre MCA, sont suffisamment précis pour être utilisés comme base de construction.

IV. CHAMBRES A VIDE ELARGIES MCW

Les mêmes programmes de calcul utilisés dans le Chapitre III ont servi pour l'étude des chambres MCW.

1. Calcul préliminaire de la section

Le rapport L/H est 57. L'étude préliminaire selon la méthode de calcul ¹⁾ et le programme ²⁾ a donné aux points MIN et MAJ des contraintes maximales extérieures et intérieures, récapitulées dans la fig. 12. Les valeurs encadrées dans ce tableau correspondent à l'épaisseur de la paroi choisie (6mm). Les contraintes et flèches trop élevées pour un acier inoxydable 316 LN ont dicté de nouveau une solution avec une suspension intermédiaire prenant en charge une partie des efforts.

2. Définition de la section transversale de la chambre avec suspension intermédiaire

Cette chambre étant conique, les sangles de suspension ne peuvent pas être réparties d'une façon uniforme et équidistante. En effet, à l'endroit des supports de bobine de l'aimant il n'y a aucune possibilité de suspendre la chambre extérieurement. Par conséquent, la surface de la chambre hachurée 350x450 mm, fig. 13, est la partie la plus critique. Pour cette structure complexe nous nous sommes contentés d'effectuer des calculs estimatifs, selon les hypothèses données dans la fig. 13. Les valeurs trouvées sont :

flèche max entre 0.68 et 1.31 mm

contraintes max entre : 8 da N/mm² et 18 da N/mm²

Sur la base de ces calculs une demie-chambre prototype a été construite.

Les essais effectués sur ce prototype à l'aide du dispositif d'essai, fig. 9, ont donné les résultats récapitulés dans les tableaux 14 et 15.

flèche max. 1.25 mm

contrainte σ_{\max} 9.73 da N/mm²

Ces valeurs mesurées se situent dans les limites calculées.

V. SUSPENSION ET MONTAGE DES CHAMBRES

1. Fixation des chambres MCA

La conception de la fixation MCA, fig. 4, a été reprise des chambres à vide de l'expérience R802 ISR⁵⁾. La place à disposition permettait de réaliser des sangles de suspension de bonnes dimensions. La force transmise par sangle est d'environ F=640 da N (voir Fig. 10) et les contraintes maximum $\sim \sigma_g = 10$ da N/mm², se trouvent dans les tourillons qui lient les sangles aux rails de fixation.

2. Fixation des chambres MCW

La place à disposition et les possibilités de montage n'ont pas permis de réaliser une suspension satisfaisante. La fig. 5 donne les détails. Les deux principaux défauts sont :

- l'effort est transmis par deux épaulements, fig. 16, fortement sollicités ;
- près de l'attache au corps de l'aimant la sangle est suspendue à deux bouts de vis (filetage sollicité au cisaillement). Ci-après, les calculs de contraintes de ces épaulements de sangles, partie la plus sollicitée de tout le projet.

a. Calcul des contraintes de la sangle d'accrochage selon dessin EA 8088-2469-3 Unité (MCW 030037)

Caractéristiques de la sangle :

acier inoxydable 316 L+N

limite élastique $\sigma_{0,2} = 30$ da N/mm²

limite de rupture $\sigma_B = 60$ à 80 da N/mm²

section $F_{yz} = 0,6113$ cm²

surface chargée A = $0,48$ cm²

moments de résistance : fibre 1 $W_1 = 0,06904$ cm³

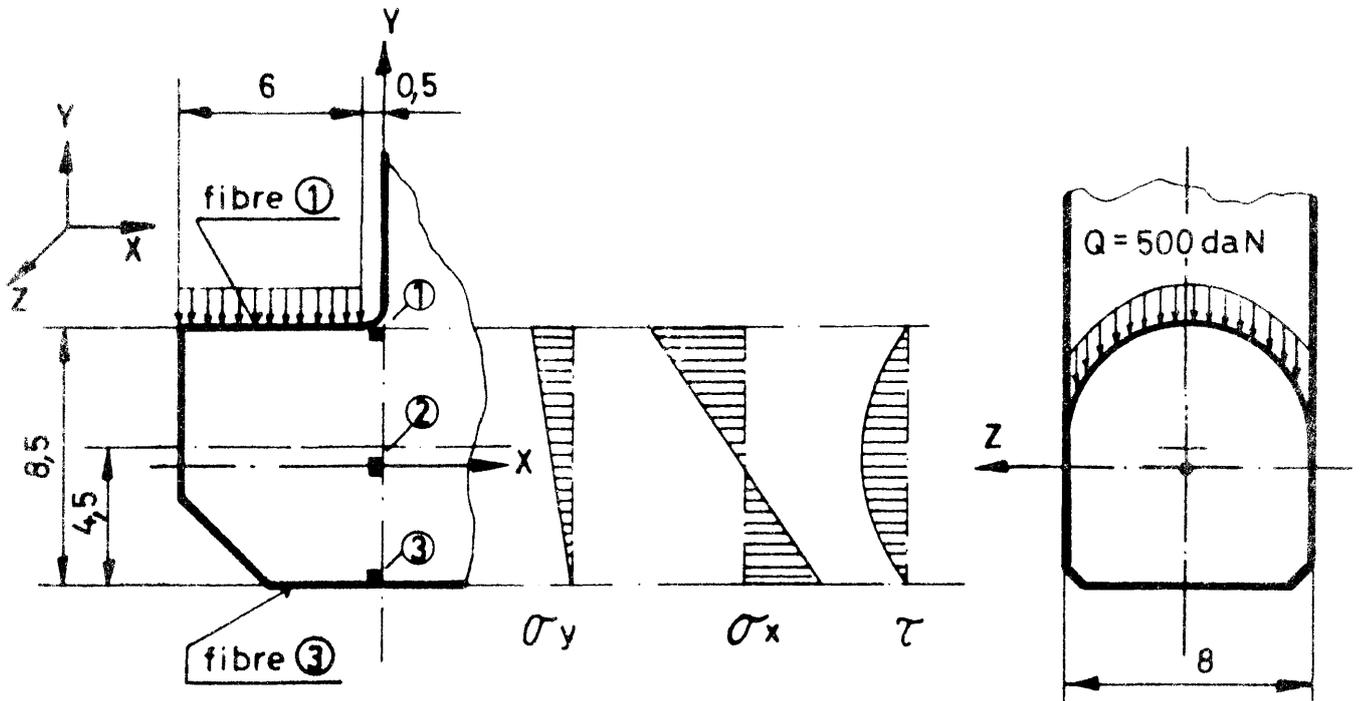
fibre 3 $W_3 = 0,08250$ cm³

p = pression sur la surface A (da N/mm²)

Q = charge (da N)

$\sigma_x \sigma_y \sigma_z$ = contraintes selon les directions x, y, z (da N/mm²)

σ_{eq} = contrainte de comparaison (da N/mm²)



Les contraintes aux points ① ② ③ dans les directions x, y, z sont respectivement :

point ①	point ②	point ③
$\sigma_y = -p$	$\sigma_x = 0$	$\sigma_y = 0$
$\sigma_x^{(1)} = M/W_1$	$\sigma_y = -P/2$	$\sigma_{xy} = 0$
$\tau_{xy} = 0$	$\tau_{xy} = \tau_{\text{max}}$	$\sigma_x^{(3)} = -M/W_3$
	$\tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$	

avec $p = Q/A = 10,416 \text{ da N/mm}^2$

$\sigma_x^{(1)} = M/W_1 = 25,34 \text{ da N/mm}^2$

$\sigma_x^{(3)} = M/W_3 = 21,21 \text{ da N/mm}^2$

$\tau_{xy} = 3/2 Q/F = 12,26 \text{ da N/mm}^2$

Les contraintes de comparaison deviennent suivant l'hypothèse de l'énergie de distorsion :

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{g1} = + 31,85 \text{ da N/mm}^2$$

$$\sigma_{g2} = + 21,86 \text{ da N/mm}^2$$

$$\sigma_{g3} = - 21,21 \text{ da N/mm}^2$$

b. Détermination de l'allongement de la sangle d'accrochage

L'allongement de la sangle a été déterminé par un essai de traction, fig. 16. Le diagramme montre que pour une charge d'essai de 1300 da N, qui correspond au point M, il subsiste après décharge, courbe 1, un allongement permanent $0 N_1$. En augmentant la charge, le point (δ, P) suit la courbe 2 jusqu'au point M.

Pour compenser la déformation permanente δ_r il est donc nécessaire d'effectuer un resserrage des sangles d'accrochage après quelques cycles de charge-décharge.

c. Remarques

La contrainte point ① $\sigma_{g1} = 31.85 \text{ da N/mm}^2$ est très élevée. En tenant compte du fait que la charge peut encore varier en fonction de la fluctuation du préserrage, le coefficient de sécurité peut devenir anormalement bas. Il est donc indispensable de réaliser le préserrage avec le plus grand soin possible et en bonne connaissance de cause.

VI. CONNEXION RECTANGULAIRE RAPIDE

1. Introduction

Ces chambres de forme hippodrome et de très grande ouverture horizontale doivent être liées entre elles par des connexions dites "rapides", c'est-à-dire manipulables à distance, disposées entre deux aimants dans un espace limité de 180 mm et dans certains cas avec un accès uniquement par le haut. En plus, à cause de la radiation très

élevée dans cette zone, le matériel de construction et le joint d'étanchéité au vide doivent être métalliques, c'est-à-dire, le mécanisme de serrage ne peut contenir de dispositifs ni pneumatiques, ni hydrauliques ni électriques et devrait marcher, si possible, sans lubrification.

Etant donné la longueur du joint d'étanchéité nécessaire, d'environ 1350 mm, on s'aperçoit vite qu'avec des joints métalliques ordinaires, demandant une force de compression d'environ 100 da N/cm, les efforts de serrage (bien distribués autour de la circonférence) deviennent prohibitifs et le mécanisme correspondant devient une machinerie lourde, coûteuse et complexe.

Une telle machinerie a été étudiée. Elle comportait 22 cames de serrage (distribuées autour de la bride rectangulaire), entraînées simultanément par un système de chaînes pour produire l'effort nécessaire à la compression d'un joint en aluminium avec profile "diamant". Cette solution de force, peu élégante et de fiabilité difficilement estimable a incité à passer en revue tous les types de joints métalliques à basse force de compression en vue de trouver une solution nécessitant des efforts plus raisonnables et un mécanisme de serrage simple. De plus, pour des raisons diverses, il a été demandé que la connexion à vide soit encore fiable lorsque le décalage entre chambres atteint les valeurs de ± 3 mm dans le plan vertical et de ± 5 mm dans le plan horizontal.

2. Description du joint

Le type de joint sélectionné pour les connexions des chambres à vide est le joint composite feuille de plomb sur tôle d'aluminium, fig. 17. Il permet d'obtenir l'étanchéité avec une pression sur le joint relativement faible (env. 10 à 20 da N/cm, la pression exacte dépend beaucoup de la géométrie des lèvres d'étanchéité et du décalage entre les brides et doit être déterminée par essai). Le joint est constitué d'un support de joint en AL 99.5, mi-dur, épaisseur 1,5 mm, et de deux feuilles de plomb, épaisseur 0,2 mm, collées à l'aide d'une huile à vide spéciale, Shell VRT fluide E, sur chaque côté du support. Cette conception de joint a déjà été utilisée avec succès au PS. Des essais avec des dimensions de connexions requises pour ce projet ont montré

qu'un décalage des brides dans le sens vertical de $d = \pm 3$ mm et un décalage dans le sens horizontal de ± 5 mm étaient les limites dans lesquelles on obtenait encore l'étanchéité sans trop de difficultés. Un décalage trop important donne une inégalité de pression sur le joint, en effet sur le côté (h-d) la pression augmente et sur le côté (h+d) la pression diminue fortement. Ce type de joint demande une géométrie très bien étudiée et un état de surface parfait (N6 polie) des parties d'étanchéité. Le joint lui-même doit être préparé avec les mêmes soins. Chaque ensemble bride mâle-femelle a subi au moins trois essais d'étanchéité dont deux dans les positions extrêmes (déplacement vertical de 3 mm/horizontal de 5 mm) et un essai dans la position moyenne.

3. Description de la connexion

La connexion de construction simple consiste en quatre mâchoires agissant sur une paire de brides très rigides serrées successivement deux par deux, à l'aide de deux vis possédant un filetage gauche et un filetage droit (fig. 18). Le couple de serrage (appliqué avec une manivelle d'extension du côté ou du haut) nécessaire pour obtenir l'étanchéité est d'environ 40 Nm.

Un système de translation monté sur la culasse de l'aimant permet de déplacer facilement la connexion après desserrage dans le sens longitudinal de l'aimant, ce qui libère les unités d'aimant pour un déplacement éventuel. Lors du desserrage de la connexion la bride côté soufflet est automatiquement déplacée d'environ 10 mm par un système de ressorts. L'espace entre les brides ainsi créé permet l'introduction ou l'enlèvement à distance du joint. Ces deux dernières opérations sont effectuées à l'aide d'un manipulateur d'une longueur de trois mètres (disponible à la division "Health and Safety").

VII. REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier C.E. Rufer pour ses nombreuses suggestions et son encouragement à rechercher les meilleures solutions tout le long de ce projet, et C. Menot qui avec beaucoup d'enthousiasme a contribué de façon importante à cette réalisation.

R E F E R E N C E S

- 1) G. Brianti and K. Schindl, "Computation of stress and deflection of elliptical vacuum chambers with corrugated thin wall profile of variable amplitude, CERN-SI/Int. DL/69-5 (1969).
- 2) C. Arnaud, "Chambres à vide "hippodrome", Programme HP9830" (communication privée).
- 3) H. Bargmann and Y. Marti "Elliptical and quasi-elliptical vacuum chambers when the minor axis is constrained", CERN-ISR-GE/72-29.
- 4) H. Bargmann and H. Stucki, "Suspended vacuum chambers, stress and deflection", CERN/PS/ML 77-20.
- 5) J.C. Brunet, "Etude de chambres à vide de formes et de portées exceptionnelles pour l'expérience R-802", CERN-ISR-GE/73-22.
- 6) S. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger "Théorie des plaques et coques", Librairie polytechnique Ch. Béranger.

A N N E X E

1. PLAN D'OPERATION DE MONTAGE DES CHAMBRES A VIDE
SUR LES AIMANTS

1.1 Chambre à vide MCA

- montage des supports inférieurs, plan EA 8088-2475-2 sur l'aimant.
- montage des sangles et pièces de fixation selon dessin EA 8088-2439-1A sur l'aimant.
- montage des supports supérieurs, EA 8088-2475-2 sur la chambre.
- introduction de la chambre à l'aide d'un pont roulant. L'accrochage au pont se fait par l'intermédiaire de deux vis à oeillet, vissées à l'endroit prévu des supports supérieurs.
- accrochage des sangles.
- SERRER LES SANGLES PARTOUT AVEC LE MEME COUPLE DE SERRAGE Md=30 Nm

1.2 Chambres à vide MCW 030-037, 030-033, 030-029

Le montage de ces chambres est identique au montage des chambres MCA à une exception près :

- les sangles d'extrémités de la chambre à vide MCW 030-037 doivent être montées une fois la chambre introduite dans l'entrefer et environ 15 à 25 mm avant d'avoir atteint sa position finale. Les bossages pour les tiges filetées M10 doivent se trouver à ce moment là derrière l'emplacement des sangles d'extrémité.

ATTENTION ! Pour éviter tout endommagement des bobines lors du démontage de la chambre MCW 030-037, les sangles d'extrémités doivent être retirées au moment où la chambre se trouve dans la position indiquée ci-dessus.

- LE COUPLE DE SERRAGE DES SANGLES DOIT ETRE UNIFORME SUR TOUTES LES SANGLES, LA VALEUR EST Md = 20 Nm

2. PRESCRIPTION POUR L'INSTALLATION OU L'ENLEVEMENT DES UNITES D'AIMANT

(MCA 052044, MCA 052040, MCA 052037, MCA 052034, MCA 052030, MCW 030037, MCW 030033).

- avant l'installation ou l'enlèvement d'une unité, les connexions à chaque extrémité de l'unité sont à ouvrir, avec un outillage approprié, et à ramener vers la face d'extrémité d'aimant par le moyen du dispositif de translation actionné par la commande mécanique à distance "FLEXBALL".
- les joints sont à retirer (ou à introduire).

- MUNIR LES BRIDES MALES AVEC LA PROTECTION EA 8088-2487-3

L'oubli de cette dernière opération peut avoir de graves conséquences ! (endommagement de la lèvre d'étanchéité). L'alignement des unités d'aimant par les géomètres doit se faire avec les connexions ouvertes dès que les déplacements dépassent à l'endroit des connexions de 1 mm dans le sens transversal.

3. PLAN DE FABRICATION (MCA 052-034, -037, et -040)
 - 1) Découpage des tôles en longueur et en largeur pour l'usinage mécanique.
 - 2) Pliage des tôles.
 - 3) Rabotage des parties de chambre en laissant une sur-épaisseur, nettoyage des arêtes à souder et préparation des parties de chambre pour la soudure longitudinale.
 - 4) Pointage des parties de chambre.
 - 5) Soudage des parties de chambre en utilisant l'outillage spécial (poutre avec rail en cuivre avec circulation de gaz inerte) et à l'aide d'un automate TIG pulsé comme suit :
 - a) 1er cordon sans métal d'apport sous gaz d'hélium 6l/min. ;
face arrière sans gaz d'argon env. 10 l/min.
 - b) 2ème cordon avec métal d'apport sous gaz d'argon 8 l/min. ;
face arrière sous gaz d'argon env. 5 l/min.
 - 6) Usinage des demi-chambres sur une extrémité perpendiculaire à l'axe longitudinal.
 - 7) Découpage des renforts avec sur-épaisseur.
 - 8) Usinage des renforts en forme de "U", contour extérieur selon dessin, contour intérieur selon cotes réelles de la chambre. Face frontale avec 3mm sur-épaisseur.
 - 9) Perçage et fraisage des petits renforts.
 - 10) Soudage des grands renforts sur la demi-chambre.
 - 11) Redressage des demi-chambres.
 - 12) Puisqu'au cours de l'opération de soudage les renforts de la demi-chambre se déforment, l'extrémité usinée doit être re-usinée perpendiculairement à l'axe longitudinal (déformation env. 2mm).
 - 13) Fraisage de l'arête à souder (70°) de cette extrémité ; partie circulaire à l'aide d'une fraise à métal dur.
 - 14) Pointage des deux demi-chambres en utilisant le gabarit spécial.
 - 15) Remplissage de la chambre avec un gaz de protection.
 - 16) Soudage de la soudure circulaire comme suit :
 - a) parties circulaires TIG pulsé, sans métal d'apport, sous atmosphère d'hélium ; souder à la main.
 - b) parties droites TIG pulsé, sans métal d'apport, sous atmosphère d'hélium, soudé par automate.
 - c) parties droites TIG pulsé, avec métal d'apport, sous atmosphère d'argon, soudure finale par automate.

- d) parties circulaires TIG. Soudure finale à la main.
La chambre doit être fixée sur une plaque plane pour réduire dans la mesure du possible les déformations.
- 17) Contrôler la planéité et redresser la chambre.
 - 18) Soudage des quatre plaques, Pos. 6 et les deux pièces, pos. 5.
 - 19) Pour éviter la calcination de saletés dans la surface de la chambre, la chambre doit subir un décapage d'environ une heure.
 - 20) Recuire la chambre selon spécification.
 - 21) Contrôler de nouveau la planéité de la chambre et redresser si nécessaire.
 - 22) Usinage des surfaces polaires, des petits renforts, Pos. 3, des renforts en forme de "U", pos. 2, (côté rail) et des quatre plaques, pos. 6, selon cotes finales.
 - 23) Soudage des rails en partant du milieu de la chambre.
 - 24) Fraisage de tous les renforts doubles selon dimension de la chambre, ensuite soudage sur la chambre.
 - 25) Usinage des extrémités de la chambre en mesurant depuis le milieu de la chambre, en prenant une avance de 1 à 2 mm.
 - 26) Préparer l'arête à souder côté soufflet, comme indiqué sous point 13.
 - 27) Perçage des renforts doubles (côté soufflet) et des quatre plaques, pos. 6, selon dessin.
 - 28) Nettoyage de la chambre avec un mélange vapeur-chlorure suivi d'un décapage.
 - 29) Montage des quatre tiges filetées, pointage de l'ensemble soufflet-bride.
 - 30) Remplissage de la chambre avec l'argonne et soudage des brides selon point 16 a)-d).
 - 31) Nettoyage des soudures avec une brosse en acier inoxydable.
 - 32) Fixer l'ensemble soufflet-bride à l'aide de quatre étriers pour le transport.
 - 33) Nettoyage de la chambre à l'alcool.
 - 34) Contrôle dimensionnel des cotes principales et contrôle visuel.

PLAN DE FABRICATION CHAMBRE (MCW 030 033)

- 1) Préparation des parties de chambre selon points 1-7, chambres MCA.
- 2) Usinage final des grands renforts selon dimensions de la chambre.
- 3) Fraisage et perçage des petits renforts.
- 4) Soudage de tous les renforts sur les demi-chambres.
- 5) Redressage de toutes les parties de la demi-chambre.
- 6) Soudage des différentes parties de chambre selon points 12-17, chambres MCA.
- 7) Soudage des quatre plaques et de la pièce, pos. 22.
- 8) Traitement de la chambre comme indiqué sous points 19-21, chambres MCA.
- 9) Usinage des faces polaires, des petits renforts et des quatre plaques selon dessin.
- 10) Perçage des quatre plaques et usinage de la chambre en longueur en laissant une sur-épaisseur de 1 à 2 mm.
- 11) Soudage des pièces de suspension, pos. 7, en mesurant depuis le milieu de la chambre.
- 12) Usinage des deux brides selon dimension de la chambre et soudage - procédé TIG.
- 13) Nettoyage suivi d'un décapage de la chambre.
- 14) Contrôle de la chambre et nettoyage à l'alcool.

LISTE DE DESSINS

I. Aimants MCA (ligne H3)

- ensemble général EA 8088-2684-0
- a) Aimant MCA No. 052030
 - Chambre EA 8088-2615-0
 - rail longitudinal supérieur EA 8088-2444-1
 - rail longitudinal inférieur EA 8088-2580-1
 - plat d'accrochage EA 8088-2458-3
 - axe support de bride EA 8088-2555-3
 - modification rail inférieur EA 8088-2682-2
 - Connexion (amont) EA 8088-2642-2
 - plaque d'extrémité EA 8088-2606-1
 - pièce de transition EA 8088-2643-3
 - bride EA 8088-2662-2
 - Connexion (aval ensemble/soufflet) EA 8088-2652-2
 - pièce de transition EA 8088-2599-1
 - soufflet EA 8088-2614-3
 - pièce de transition EA 8088-2598-1
 - bride mâle EA 8088-2596-0
- b) AIMANT MCA No. 052034, -037, -040
 - Chambre EA 8088-2443-0
 - détails identiques à ceux de la chambre MCA No. 052030
 - Connexion (amont)
 - bride femelle EA 8088-2597-1
 - Connexion (aval/ensemble/soufflet) EA 8088-2652-2
 - Identique à la connexion aval de la chambre MCA No 052030
- c) AIMANT MCA No. 052044
 - Chambre EA 8088-2522-0
 - détails identiques à ceux de la chambre MCA No. 052030
 - Connexion (amont)
 - bride femelle EA 8088-2597-1

<u>Connexion (aval-fenêtre spéciale)</u>	EA 8088-2638-2
- plaque d'extrémité	EA 8088-2607-1
- pièce de transition	EA 8088-2641-3
- fenêtre	EA 8088-2608-3
- bride	EA 8088-2609-3
- diaphragme	EA 8088-2636-3
- câle	EA 8088-2637-3
- tube de transition	EA 8088-2639-4
- pièce de transition	EA 8088-2006-4
- soufflet	EA 8088-2007-4
- bride "EVAC 4"	EA 8088-2640-4
- protection de la fenêtre	EA 8088-2688-2
d) <u>INSTALLATION DES CHAMBRES SUR LES AIMANTS</u>	
- Vue de face	EA 8088-2581-0
- Vues de profil et autres vues	EA 8088-2439-1
- Nomenclature	EA 8088-2582-4
- Tirant	EA 8088-2476-2
- Vis spéciale	EA 8088-2484-3
- Butée	EA 8088-2480-3
- Bloc d'appui	EA 8088-2477-3
- Bloc d'appui extrême (s.d; i.g.)	EA 8088-2478-3
- Butée extrême (s.d; i.g.)	EA 8088-2482-3
- Support de chambre	EA-8088-2475-2
- Plaque de fixation	EA 8088-2483-3
- Bloc d'appui extrême (s.g; i.d.)	EA 8088-2479-3
- Butée extrême (s.g; i.d.)	EA 8088-2481-3
e) <u>CONNEXION RAPIDE</u>	
- ensemble	EA 8088-2673-0
- traverse	EA 8088-2675-2
- support de glissière gauche	EA 8088-2539-2
- support de glissière droite	EA 8088-2538-2
- support de connexion gauche	EA 8088-2540-2
- support de connexion droit	EA 8088-2537-2

- arbre de roulement	EA 8088-2541-3
- bague d'arrêt	EA 8088-2542-4
- flasque gauche	EA 8088-2664-2
- flasque droit	EA 8088-2556-2
- vis de commande	EA 8088-2558-3
- écrou à gauche et à droite	EA 8088-2560-3
- traverse	EA 8088-2557-2
- palier en deux parties	EA 8088-2559-3
- entretoise	EA 8088-2670-3
- support de la télécommande	EA 8088-2677-3
- clavette	EA 8088-2671-4
- vis spéciale	EA 8088-2533-3
- mors	EA 8088-2534-3
- palier	EA 8088-2665-3
- arbre de liaison	EA 8088-2535-3
- axe de commande	EA 8088-2666-3
- liaison des mors	EA 8088-2551-3
- plaquette de glissement	EA 8088-2653-3
- adaptateur	EA 8088-2667-3
- étanchéité - support de joint	EA 8088-2674-2
f) <u>PERCAGE DANS LES AIMANTS</u>	EA 8088-2600-0
- utilisation des gabarits	EA 8088-2601-2
- gabarit 1	EA 8088-2602-3
- gabarit 2	EA 8088-2603-3
- gabarit 3	EA 8088-2604-3
II. <u>AIMANT MCW (LIGNE E1/H1)</u>	
- ensemble général	EA 8088-2683-0
a) <u>AIMANT MCW 030029</u>	
<u>Chambre</u>	EA 8088-2605-1
- pièce d'accrochage	EA 8088-2447-3

<u>connexion</u> (amont)	
- bride à souder Ø 332	EA 8088-2644-1
- bride Ø 332	EA 8088-2645-1
- bride Ø 206	EA 8088-2646-2
- tube de transition	EA 8088-2647-4
<u>connexion</u> (aval)	
- bride	EA 8088-2613-2
b) <u>AIMANT MCW 030033</u>	
<u>Chambre</u>	EA 8088-2449-0
- plat d'accrochage	EA 8088-2446-3
- pièce d'accrochage	EA 8088-2447-3
<u>connexion</u> (amont)	
- bride	EA 8088-2613-2
<u>connexion</u> (aval)	EA 8088-2660-1
- bride femelle	EA 8088-2658-1
c) <u>AIMANT MCW 030037</u>	
<u>chambre</u>	EA 8088-2445-0
- plat d'accrochage	EA 8088-2446-3
- pièce d'accrochage	EA 8088-2447-3
- renfort	EA 8088-2496-3
- renfort	EA 8088-2453-2
- renfort	EA 8088-2654-2
- pièce de transition	EA 8088-2655-2
- plat de soutien du soufflet	EA 8088-2656-3
<u>connexion</u> (amont)	EA 8088-2660-1
- bride mâle	EA 8088-2657-0
- pièce d'accrochage du ressort *)	EA 8088-2659-4
- pièce d'accrochage du ressort *)	EA 8088-2663-4
- soufflet	EA 8088-2614-3
*) valable aussi pour connexions MCA ligne H3	
<u>connexion</u> (aval fenêtre+connexion)	EA 8088-2490-2
- bride à souder	EA 8088-2457-2
- pièce de transition	EA 8088-2460-3
- bride pour fenêtre	EA 8088-2461-3
- bride de serrage	EA 8088-2462-3
- pièce de transition soufflet	EA 8088-2459-3
- ensemble soufflet	EA 8088-2030-3

- fenêtre diaphragme	EA 8088-2463-3
- fenêtre cale	EA 8088-2491-3
- protection de la fenêtre	EA 8088-2685-2
- système de blocage du soufflet	EA 8088-2661-2
d) <u>INSTALLATION DES CHAMBRES SUR LES AIMANTS</u>	
- vue de face	EA 8088-2488-0
- vue de profil et autres vues	EA 8088-2448-1
- nomenclature	EA 8088-2489-4
- support de chambre pour les chambres MCW 030033, -037	EA 8088-2464-2
- sangle d'accrochage	EA 8088-2469-3
- tirant	EA 8088-2468-3
- bloc d'appui	EA 8088-2467-3
- bloc d'appui d'extrémité	EA 8088-2472-3
- tirant d'extrémité	EA 8088-2473-3
- tirant d'extrémité	EA 8088-2474-3
- sangle d'accrochage d'extrémité	EA 8088-2471-3
- vis spéciale	EA 8088-2495-3
- plaque de fixation	EA 8088-2523-3
- tirant latéral pour 030037	EA 8088-2649-4
- butée latérale	EA 8088-2648-4
- sangle d'accrochage d'extrémité	EA 8088-2470-3
- support de chambre (pour 030033)	EA 8088-2465-2
- plaque de fixation (pour 030033)	EA 8088-2466-3

(Le principe est le même pour les trois chambres, seul le nombre de sangles utilisées change)

e) CONNEXION RAPIDE

- ensemble	EA 8088-2681-0
- traverse	EA 8088-2676-2
- support de connexion droit	EA 8088-2669-2
- flasque droit	EA 8088-2668-2
- entretoise	EA 8088-2680-3
- support de la télécommande	EA 8088-2678-3
- attache de télécommande	EA 8088-2679-4

(Les autres détails sont identiques à ceux des pièces utilisées dans les connexions rapides, ligne H3.)

f) PERCAGE DANS LES AIMANTS

- Aimant MCW 030029 EA 8088-2672-1
- Aimant MCW 030033 EA 8088-2493-1
- Aimant MCW 030037 EA 8088-2492-1
- perçage pour le déplacement de la
tuyauterie hydraulique sur l'aimant
MCW 030037 EA 8088-2497-1
- gabarit de perçage EA 8088-2494-2

g) DIVERS

- dispositif d'essai de la connexion
rapide EA 8088-2550-0
- châssis d'essai - chambres à vide EA 8088-2544-0
- dispositif d'accrochage des chambres
test à vide EA 8088-2536-0
- protection des lèvres bride-mâle EA 8088-2487-3

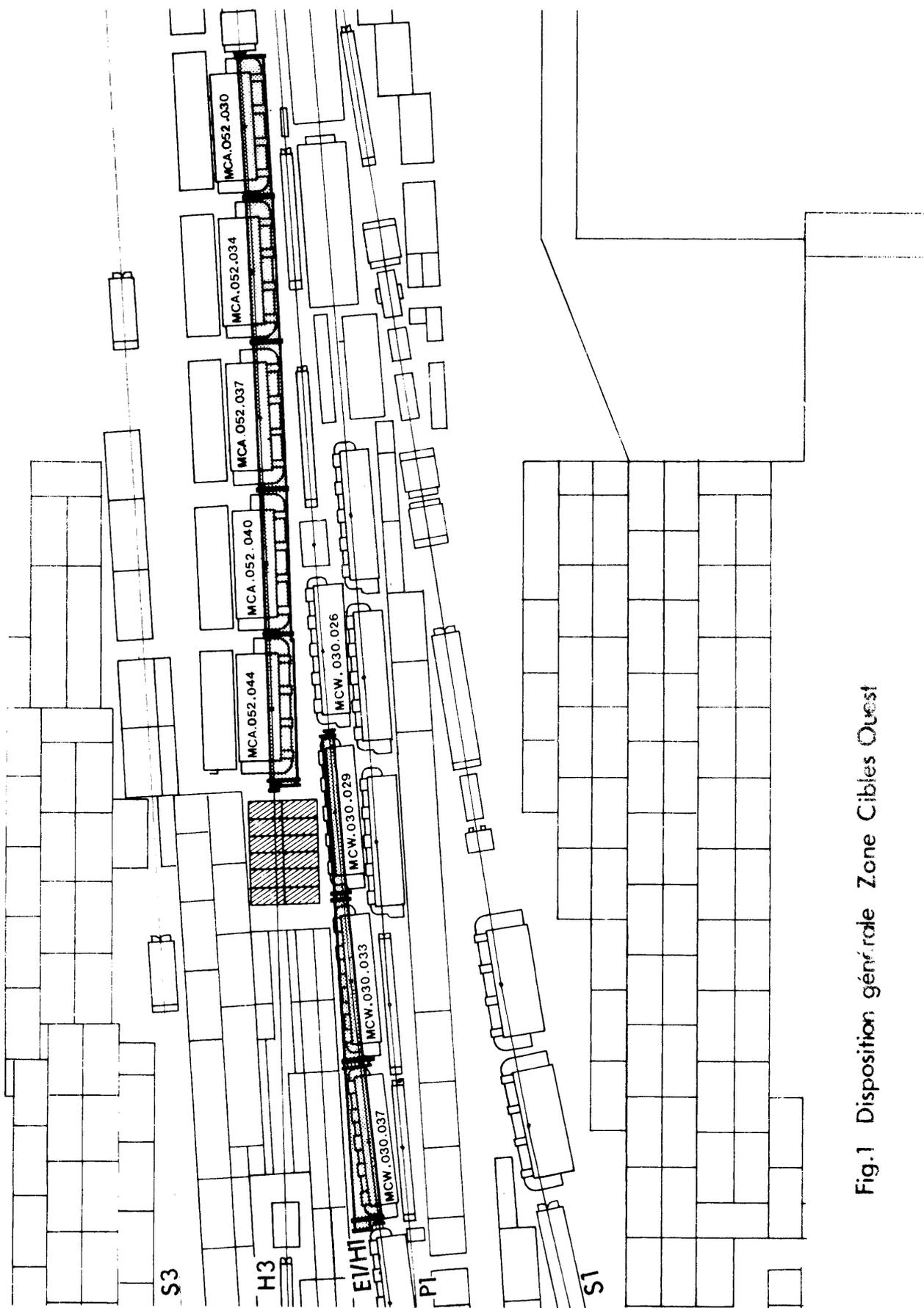


Fig.1 Disposition générale Zone Cibles Ouest

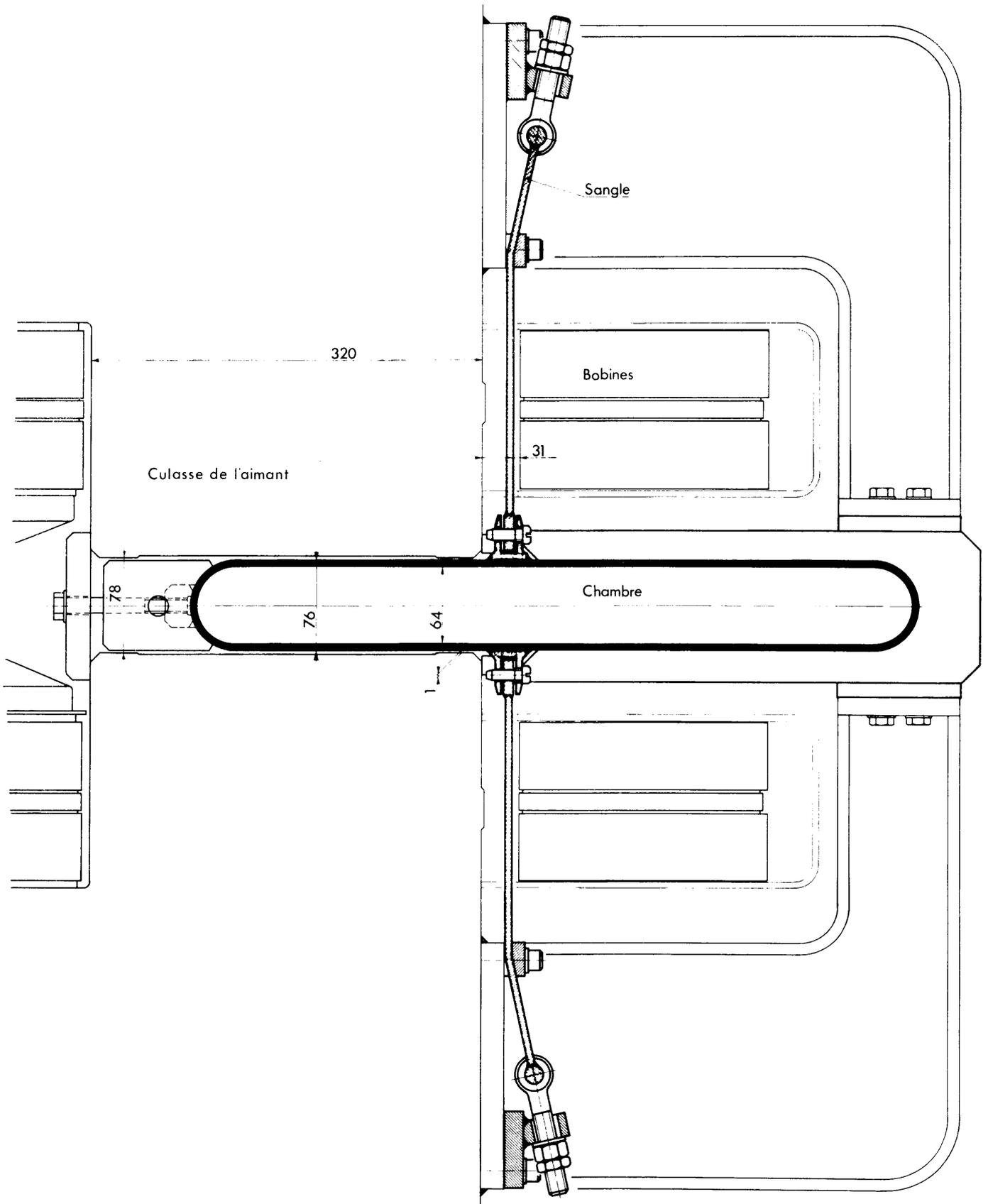


Fig.4 FIXATION DES CHAMBRES A VIDE AIMANT MCA

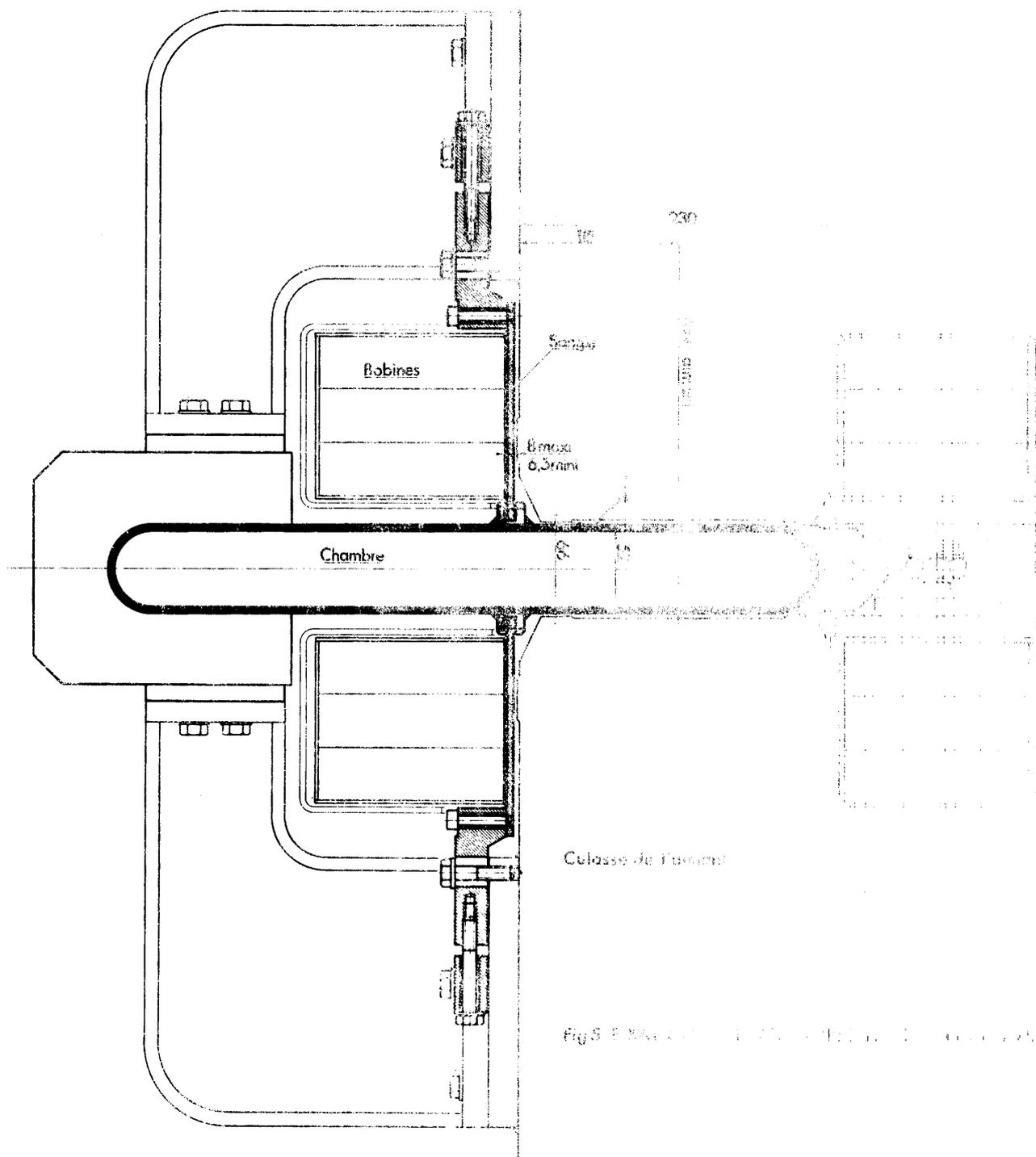


Fig 5. S.M.A. (S.M.A. = Superconducting Magnet Assembly) - 1960

CHAMBRE A VIDE HIPPODROME MCA-ZONE CIBLE CUEST-
PROGRAMME CL.ARNAUD

FLECHES ET CONTRAINTE

PRESSION ATMOSPHERIQUE EXTERNE P = 0.01033

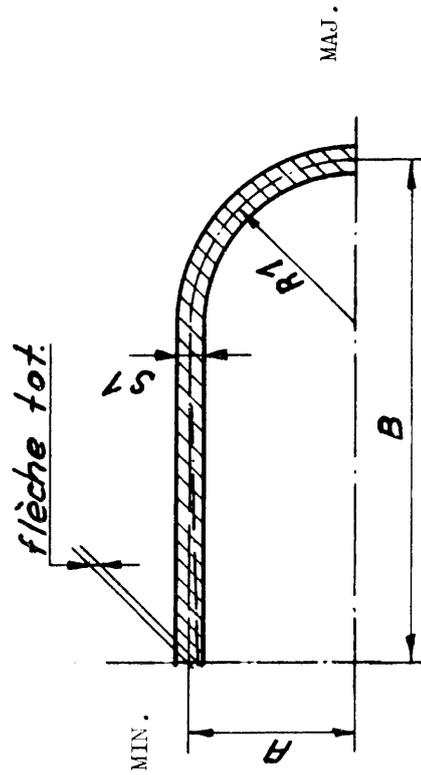
MODULE D'YOUNG daN/mm² E = 19700

DEMI-AXE MINEUR mm A = 35.00

DEMI-AXE MAJEUR mm B = 295.00

RAYON mm R1 = 35.00

EPAISSEUR DE PAROI mm S1 voir tableau



ALTERNATIVES ENVISAGEES

CONTRAINTE (daN/mm²)

FLECHE TOT. (mm)

A	B	R1	S1	MIN INT	MIN EXT	MAJ INT	MAJ EXT	AXE MINEUR
35.00	295.00	35.00	4.00	62.707	-62.887	-104.149	102.625	38.130
35.00	295.00	35.00	5.00	40.118	-40.262	-66.777	65.558	19.523
35.00	295.00	35.00	6.00	27.850	-27.970	-46.458	45.442	11.298
35.00	295.00	35.00	7.00	20.454	-20.557	-34.194	33.324	7.115
35.00	295.00	35.00	8.00	15.654	-15.744	-26.228	25.466	4.766
35.00	295.00	35.00	9.00	12.364	-12.445	-20.761	20.083	3.348

FIG.6. FLECHES ET CONTRAINTE

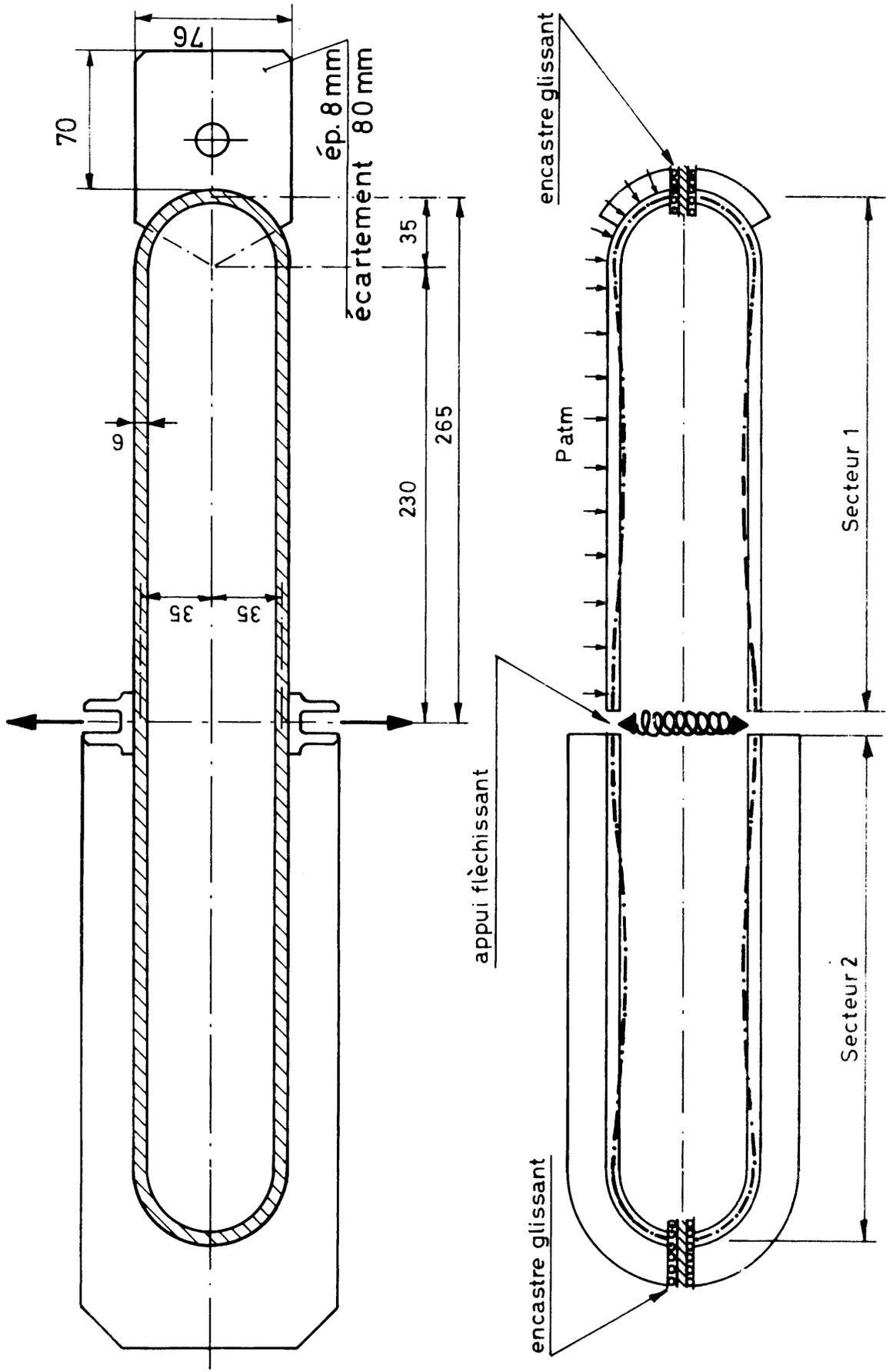


FIG. 7 Section des chambres à vide MCA

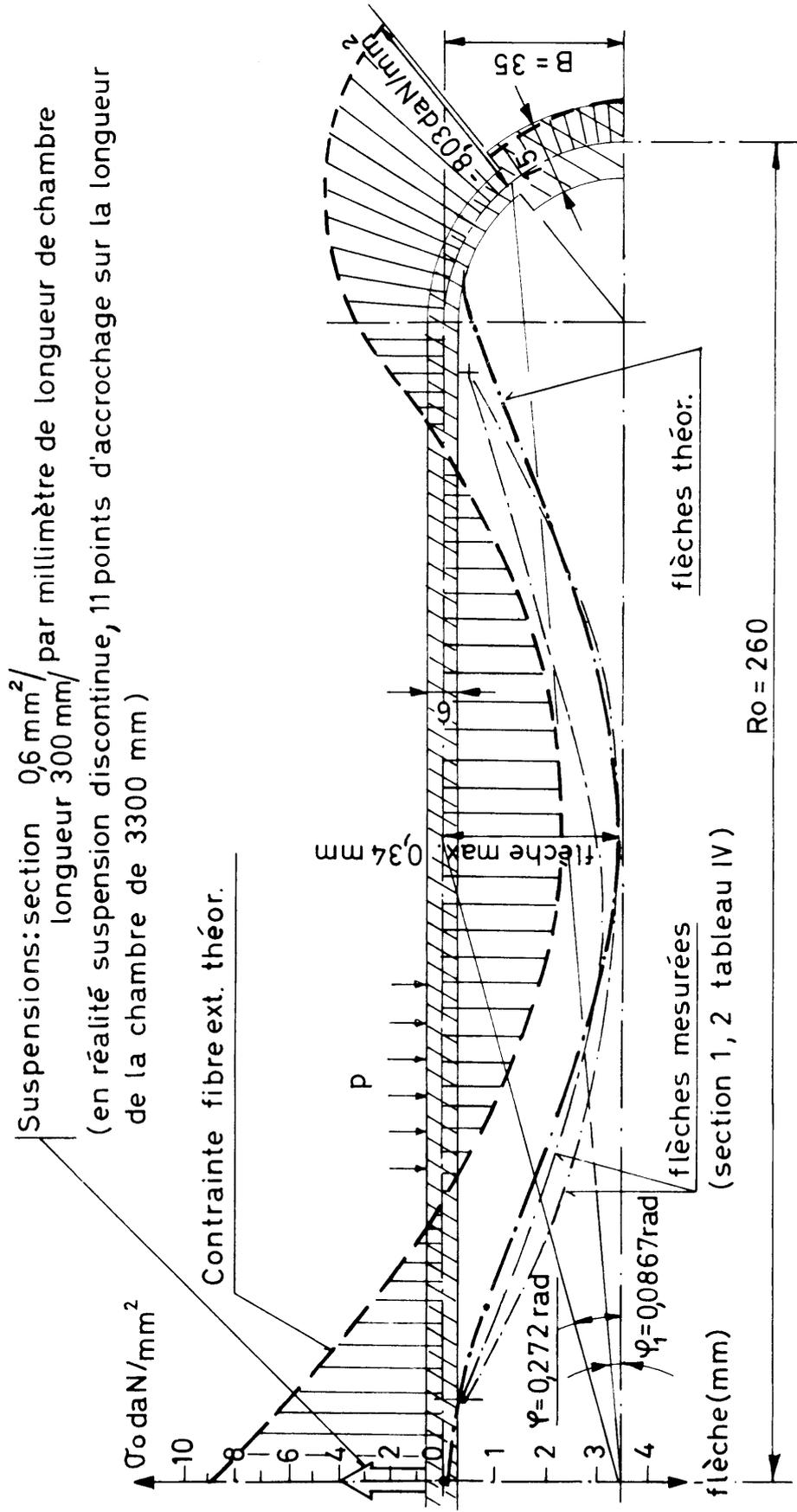


FIG. 8 FLECHES ET CONTRAINTES CHAMBRES A VIDE MCA

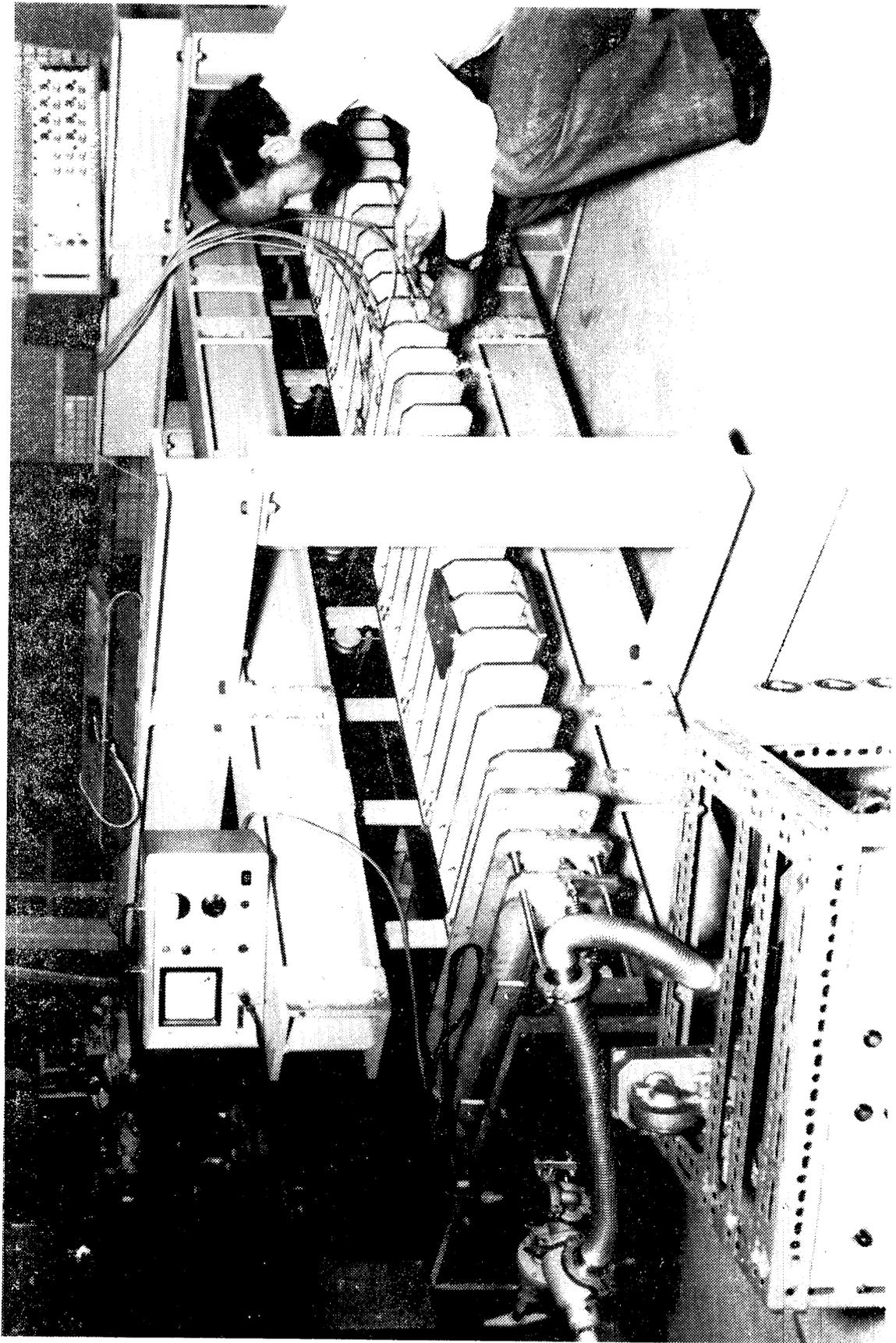
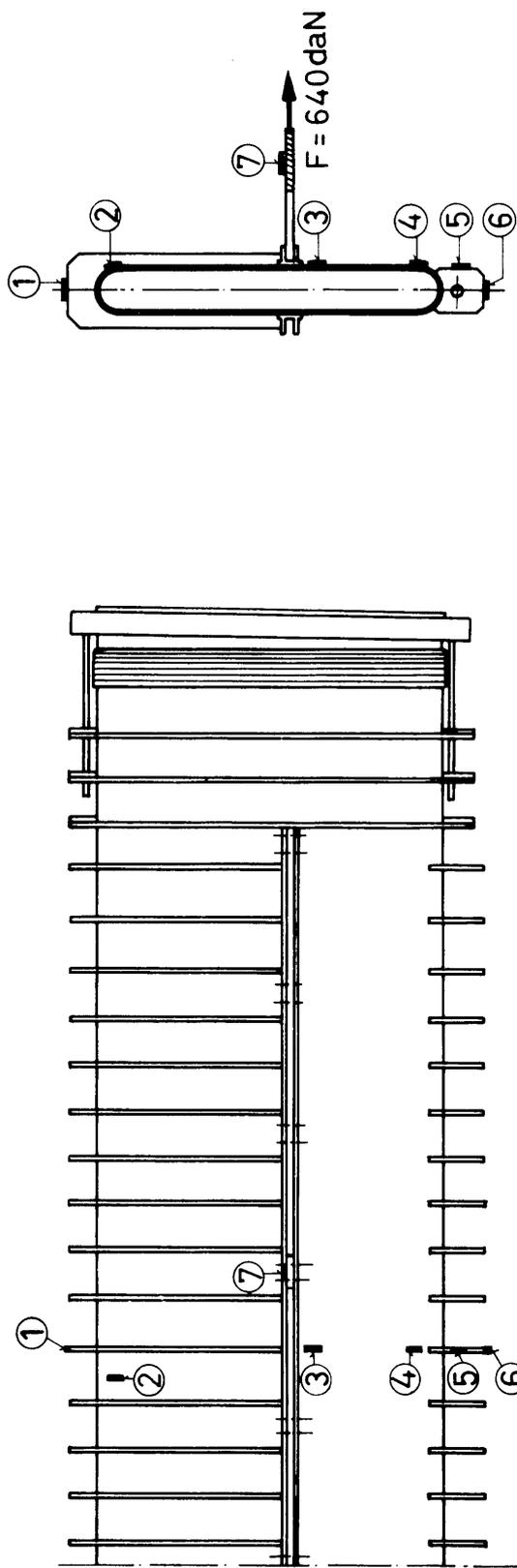


Fig. 9 Dispositif d'essai

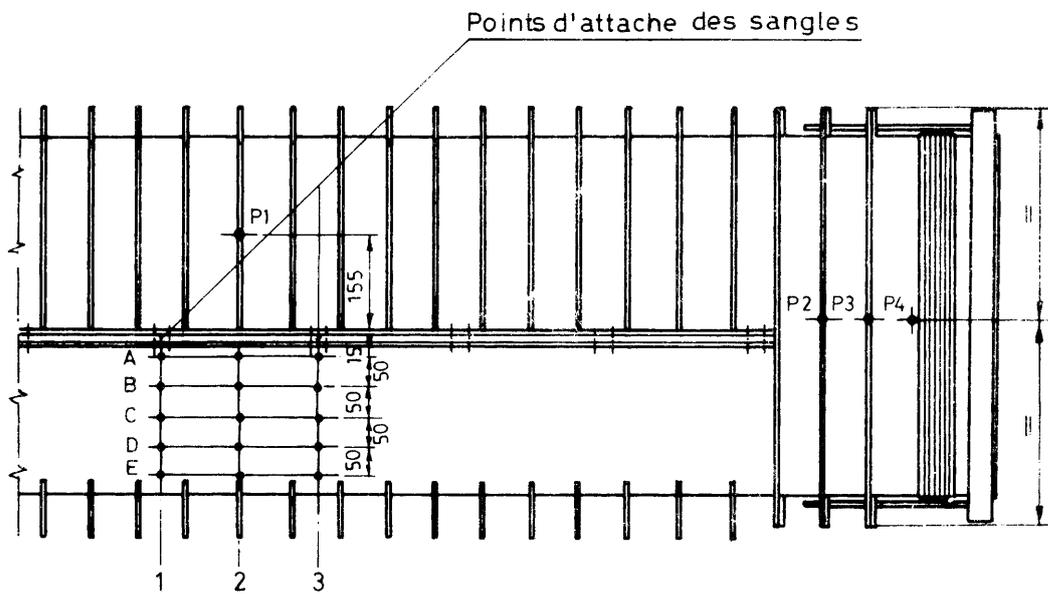


- traction +compression

	POINTS DE MESURE						
	1	2	3	4	5	6	7
CONTRAINTES en daN/mm ²	-1,58	-0,75	-0,59	-5,91	-5,79	-0,12	-3,86

FIG.10 : CHAMBRES A VIDE MCA

CONTRAINTES MEASUREES SOUS PRESSION EXTERIEURE UNIFORME 1daN/cm²



Flèches mesurées aux points: P1=0,03 mm P2=0,12 mm
 P3=0,3 mm P4=1,0 mm

	1	2	3
A	0,04	0,14	0,04
B	0,23	0,28	0,23
C	0,30	0,33	0,31
D	0,185	0,193	0,19
E	0,05	0,05	0,05

Flèche maximum mesurée au point	<u>P4 = 1,0 mm</u>
------------------------------------	--------------------

Flèches mesurées aux points d'intersection des coordonnées (mm)

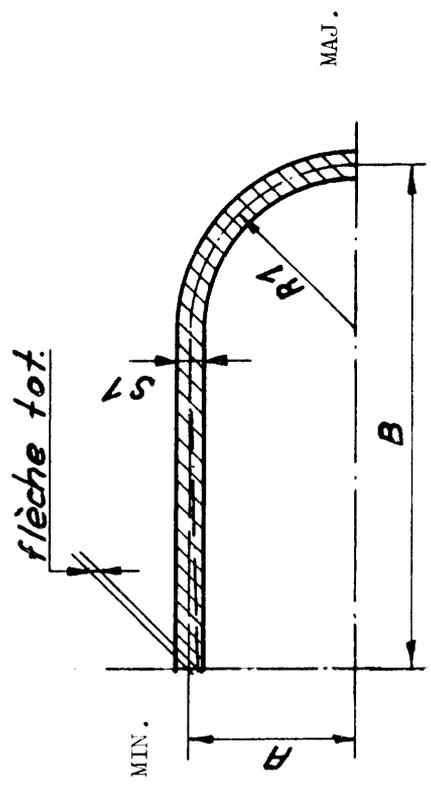
FIG.11

CHAMBRES A VIDE MCA
 FLECHES MESUREES

CHAMBRE A VIDE HIPPODROME MCA-ZONE CIBLE CUEST-
PROGRAMME CL.ARNAUD

FLECHES ET CONTRAINTES

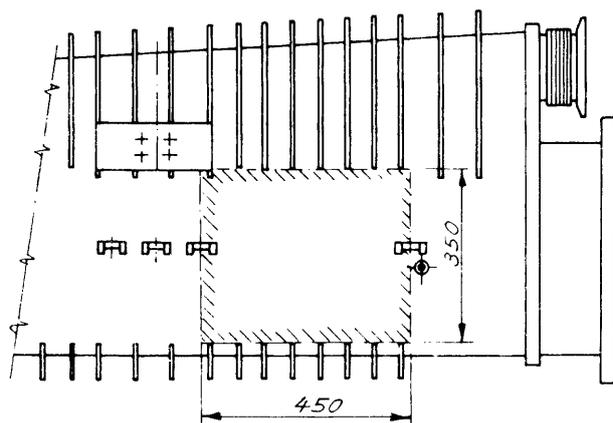
PRESSION ATMOSPHERIQUE EXTERNE P = 0.01033
 MODULE D'YOUNG daN/mm^2 E = 19700
 DEMI-AXE MINEUR mm A = 35.00
 DEMI-AXE MAJEUR mm R = 295.00
 RAYON mm R1 = 35.00
 EPAISSEUR DE PAROI mm S1 voir tableau



ALTERNATIVES ENVISAGEES

		CONTRAINTE (daN/mm ²)				FLECHE TOT. (mm)	
A	B	R1	S1	MIN INT	MIN EXT	MAJ INT , MAJ EXT	AXE MINEUR
35.00	295.00	35.00	4.00	62.707	-62.887	-104.149 102.625	38.130
35.00	295.00	35.00	5.00	40.118	-40.262	-66.777 65.558	19.523
35.00	295.00	35.00	6.00	27.850	-27.970	-46.458 45.442	11.298
35.00	295.00	35.00	7.00	20.454	-20.557	-34.194 33.324	7.115
35.00	295.00	35.00	8.00	15.654	-15.744	-26.228 25.466	4.766
35.00	295.00	35.00	9.00	12.364	-12.445	-20.761 20.083	3.348

FIG.6. FLECHES ET CONTRAINTES

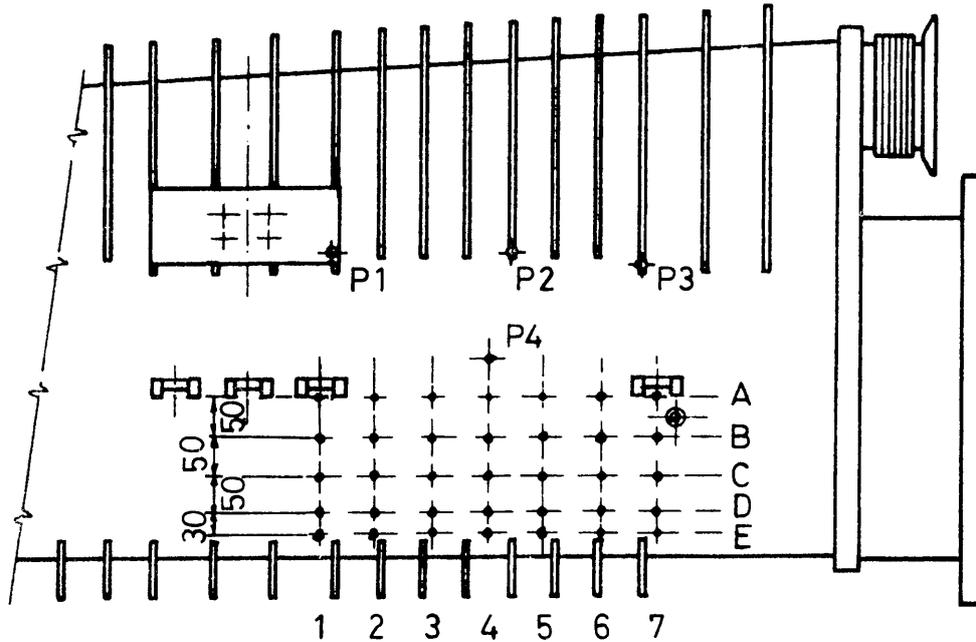


Calcul selon théorie des plaques et coques
S. TIMOSHENKO

Plaque uniformément chargée 1 bar

HYPOTHESES	FLECHES MAX.	CONTRAINTES	
<p>plaque rectangulaire encastrée sur tout le pourtour.</p>	<p>$\frac{b}{a} \approx 1,3$</p> <p>$f_{\max} = \frac{0,00191 \cdot q \cdot a^4}{D}$ $x=0, y=0$</p> <p>$D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)} = \frac{2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,6^3}{12(1-0,3^2)}$</p> <p>$D = 0,395 \cdot 10^5$</p> <p>$f_{\max} = 0,68 \text{ mm}$ $x=0, y=0$</p>	<p>$\sigma_x = \frac{0,0687 q a^2}{h^2}$ $x = a/2$ $y = 0$</p>	<p>$\sigma_y = \frac{0,0563 q a^2}{h^2}$ $x = 0$ $y = b/2$</p>
<p>plaque rectangulaire à deux bords opposés en appui simple et les deux autres encastrés</p>	<p>$f_{\max} = 0,00388 \frac{q a^4}{D}$ $x = a/2$ $y = 0$</p> <p>$f_{\max} = 1,31 \text{ mm}$ $x = a/2$ $y = 0$</p>	<p>$\sigma_x = \frac{0,0446 q a^2}{h^2}$ $x = a/2$ $y = 0$</p>	<p>$\sigma_y = \frac{0,0938 q a^2}{h^2}$ $x = a/2$ $y = b/2$</p>

Fig.13 Estimation de la flèche et des contraintes maximum de la partie hachurée de la chambre.



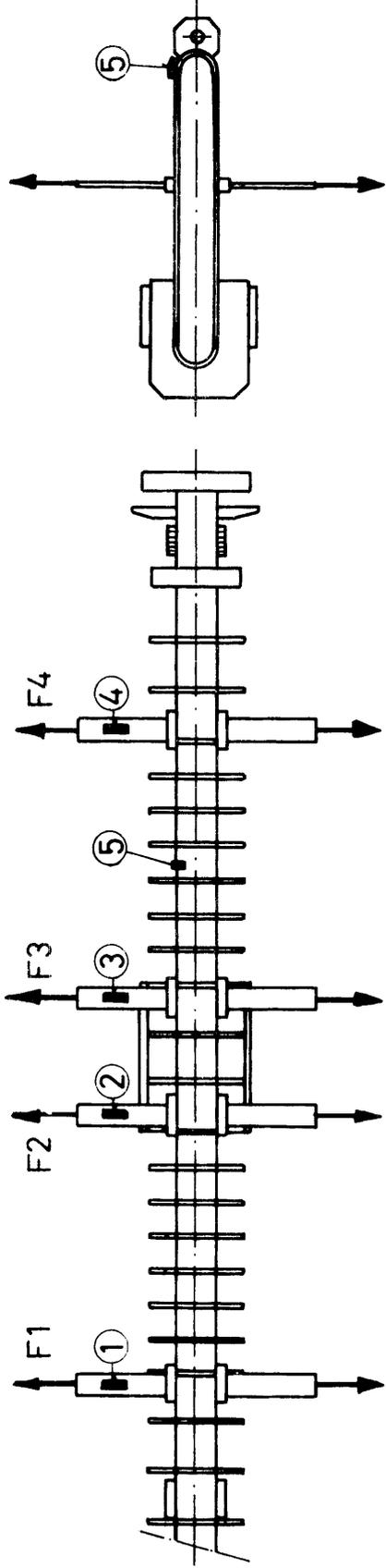
Flèches mesurées aux points : P2 = 0,33 mm P1 = 0,26mm
P3 = 0,18 mm P4 = 1,15mm

Flèche maximum mesurée au point A|4 1,25 mm

	1	2	3	4	5	6	7
A	0	0,4	1,05	1,25	1,04	0,4	0
B	0,14	0,55	0,88	1,10	0,85	0,55	0,15
C	0,1	0,37	0,61	0,70	0,60	0,29	0,13
D	0,08	—	0,23	—	0,24	0,11	—
E	0,02	—	0,08	—	—	—	—

Flèches mesurées aux points d'intersection des coordonnées

FIG.14 CHAMBRE A VIDE MCW030 037
FLECHES MESUREES



		Contraintes (σ en daN/mm ²)				
Essai	1	2	3	4	5	
No. 1	- 5,83	- 4,88	- 2,88	- 8,39	- 9,73	
No. 2	- 5,83	- 5,99	- 3,94	- 7,56	- 9,57	
Forces transmises par sangles (en daN)						
	F1	F2	F3	F4		
No 1	1326	1110	655	1850		
No 2	1326	1362	896	1516		

(-) traction

FIG.15 : CHAMBRE A VIDE MCW 030037 (PROTOTYPE)
 CONTRAINTES MEASUREES SOUS PRESSION EXTERIEURE UNIFORME 1 daN/cm²

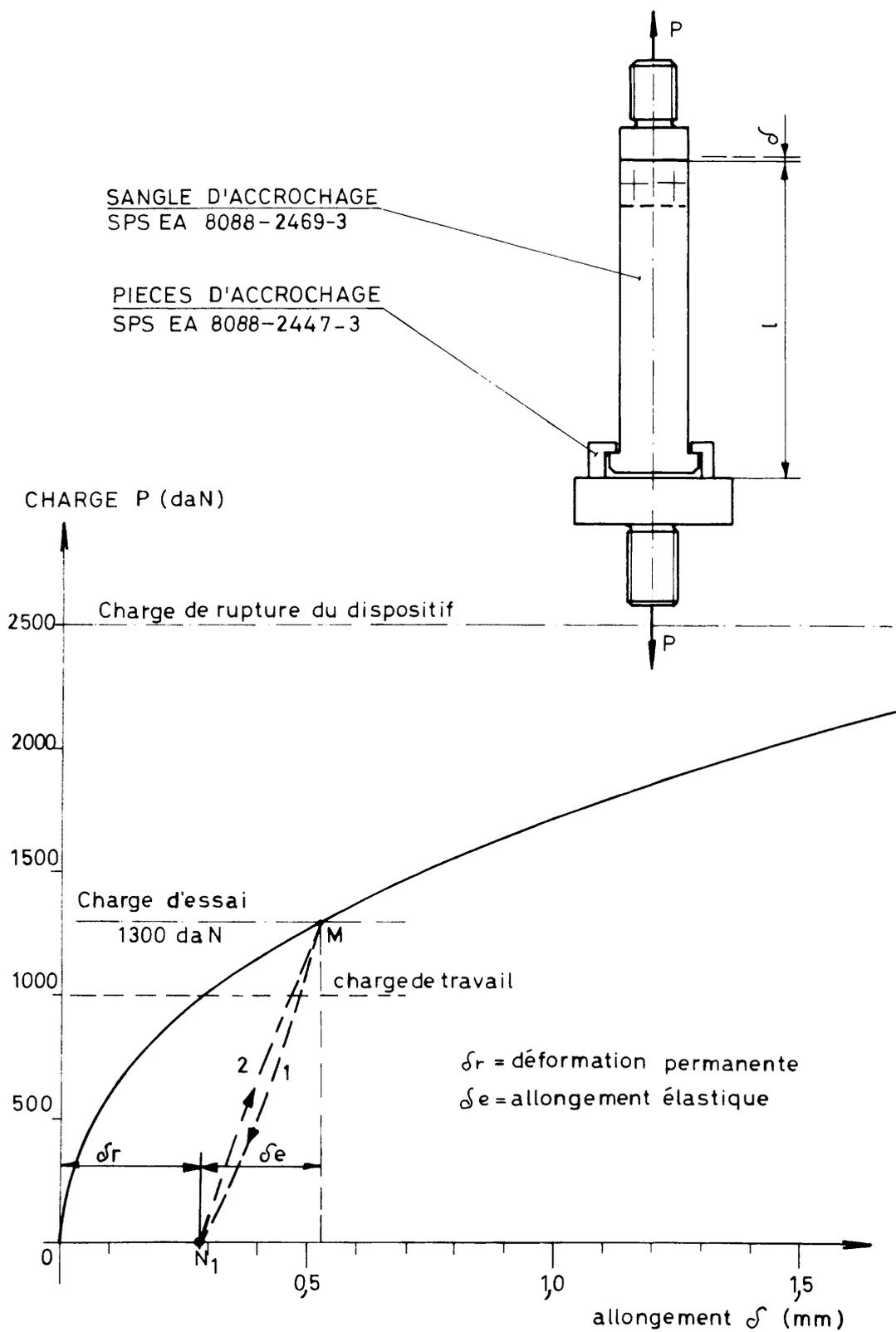


FIG.16 ESSAI DE TRACTION DE LA SANGLE D'ACCROCHAGE

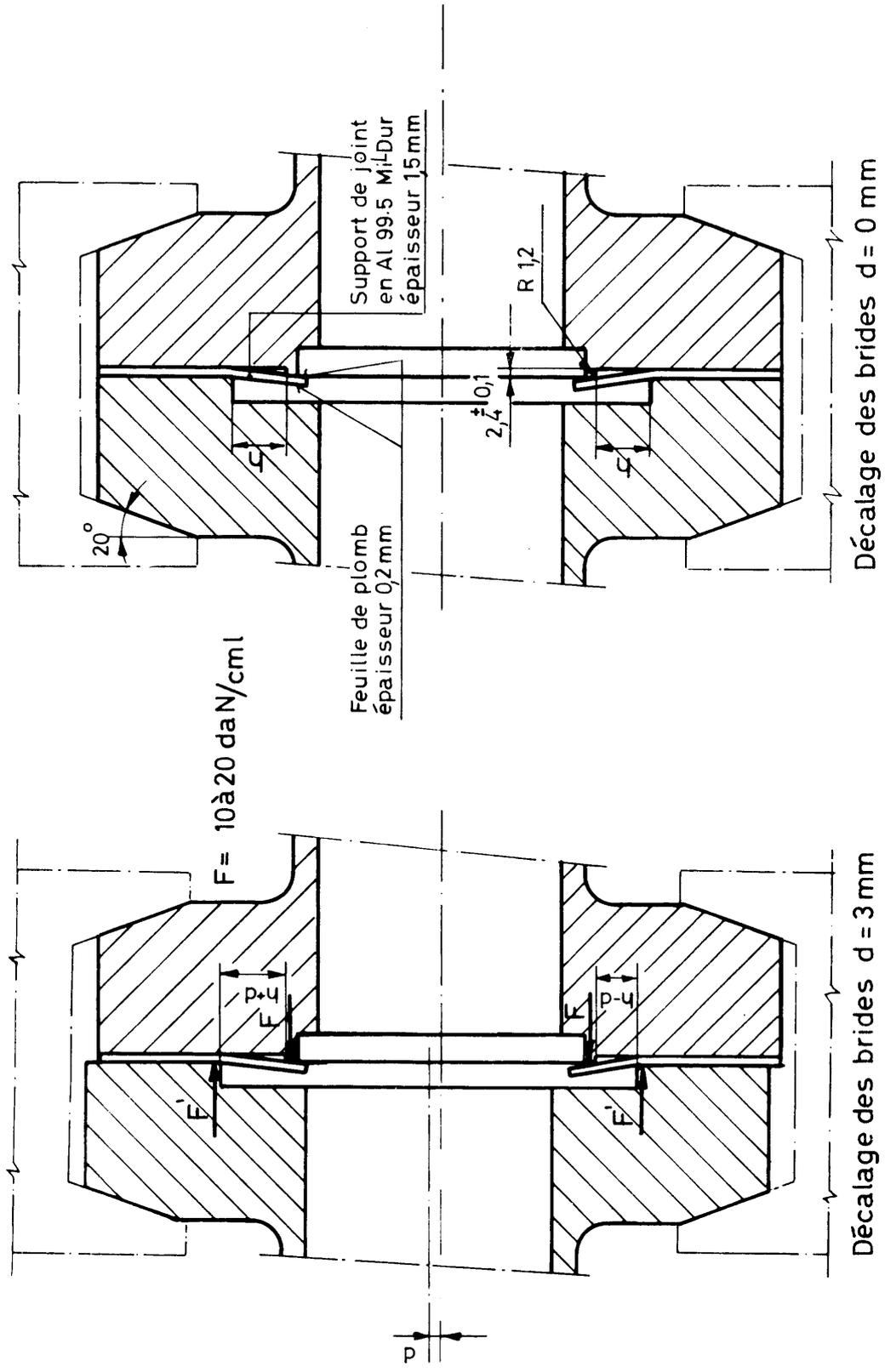


FIG.17 DETAIL DES BRIDES ET DU JOINT A PLOMB

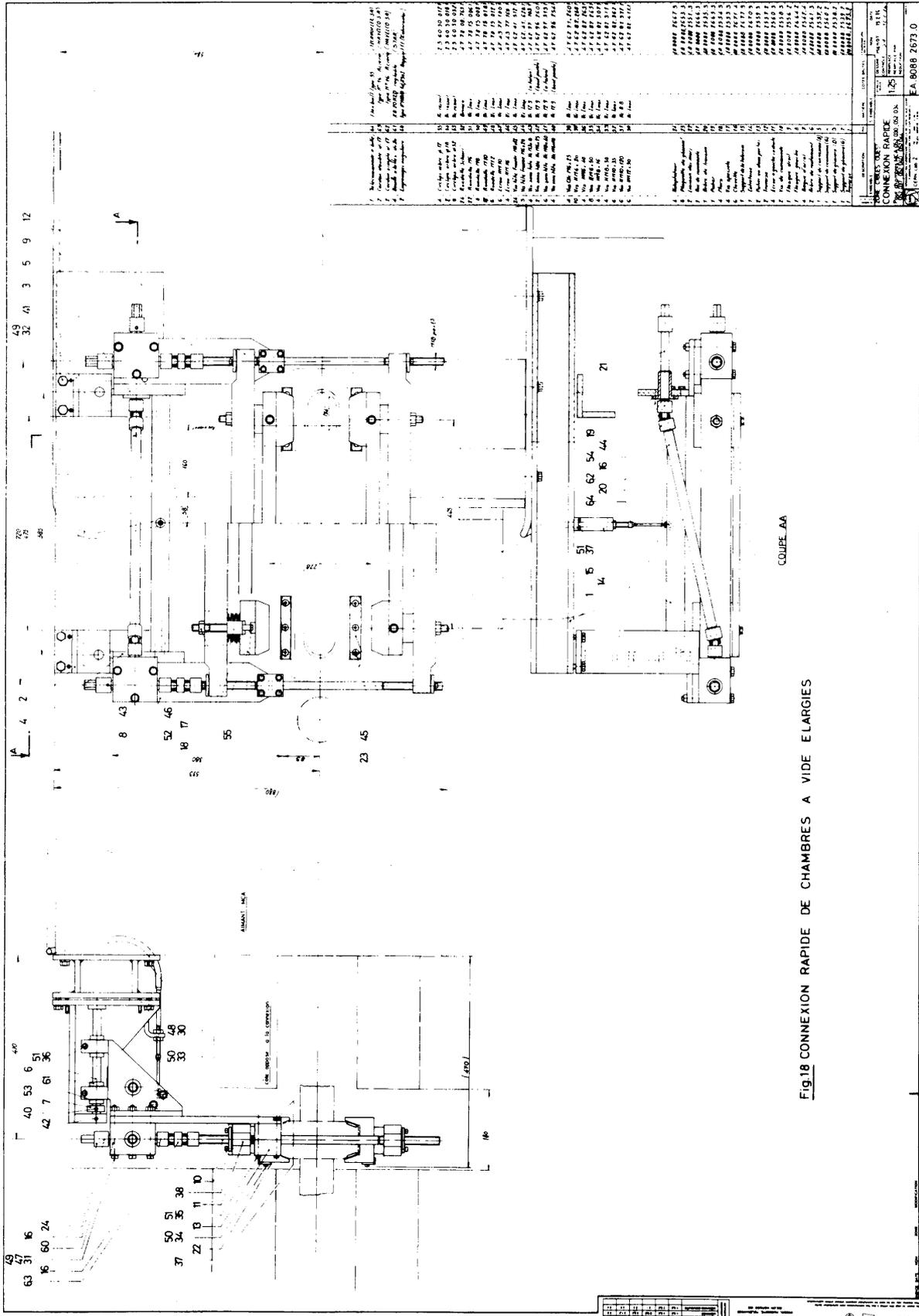


Fig.18 CONNEXION RAPIDE DE CHAMBRES A VIDE ELARGIES

COUPE AA

Part No.	Description	QTY	Part No.	Description	QTY
1	...	1	1	...	1
2	...	1	2	...	1
3	...	1	3	...	1
4	...	1	4	...	1
5	...	1	5	...	1
6	...	1	6	...	1
7	...	1	7	...	1
8	...	1	8	...	1
9	...	1	9	...	1
10	...	1	10	...	1
11	...	1	11	...	1
12	...	1	12	...	1
13	...	1	13	...	1
14	...	1	14	...	1
15	...	1	15	...	1
16	...	1	16	...	1
17	...	1	17	...	1
18	...	1	18	...	1
19	...	1	19	...	1
20	...	1	20	...	1
21	...	1	21	...	1
22	...	1	22	...	1
23	...	1	23	...	1
24	...	1	24	...	1
25	...	1	25	...	1
26	...	1	26	...	1
27	...	1	27	...	1
28	...	1	28	...	1
29	...	1	29	...	1
30	...	1	30	...	1
31	...	1	31	...	1
32	...	1	32	...	1
33	...	1	33	...	1
34	...	1	34	...	1
35	...	1	35	...	1
36	...	1	36	...	1
37	...	1	37	...	1
38	...	1	38	...	1
39	...	1	39	...	1
40	...	1	40	...	1
41	...	1	41	...	1
42	...	1	42	...	1
43	...	1	43	...	1
44	...	1	44	...	1
45	...	1	45	...	1
46	...	1	46	...	1
47	...	1	47	...	1
48	...	1	48	...	1
49	...	1	49	...	1
50	...	1	50	...	1
51	...	1	51	...	1
52	...	1	52	...	1
53	...	1	53	...	1
54	...	1	54	...	1
55	...	1	55	...	1
56	...	1	56	...	1
57	...	1	57	...	1
58	...	1	58	...	1
59	...	1	59	...	1
60	...	1	60	...	1
61	...	1	61	...	1
62	...	1	62	...	1
63	...	1	63	...	1
64	...	1	64	...	1
65	...	1	65	...	1
66	...	1	66	...	1
67	...	1	67	...	1
68	...	1	68	...	1
69	...	1	69	...	1
70	...	1	70	...	1
71	...	1	71	...	1

CONNEXION RAPIDE
 120
 EA 8088 2673 0

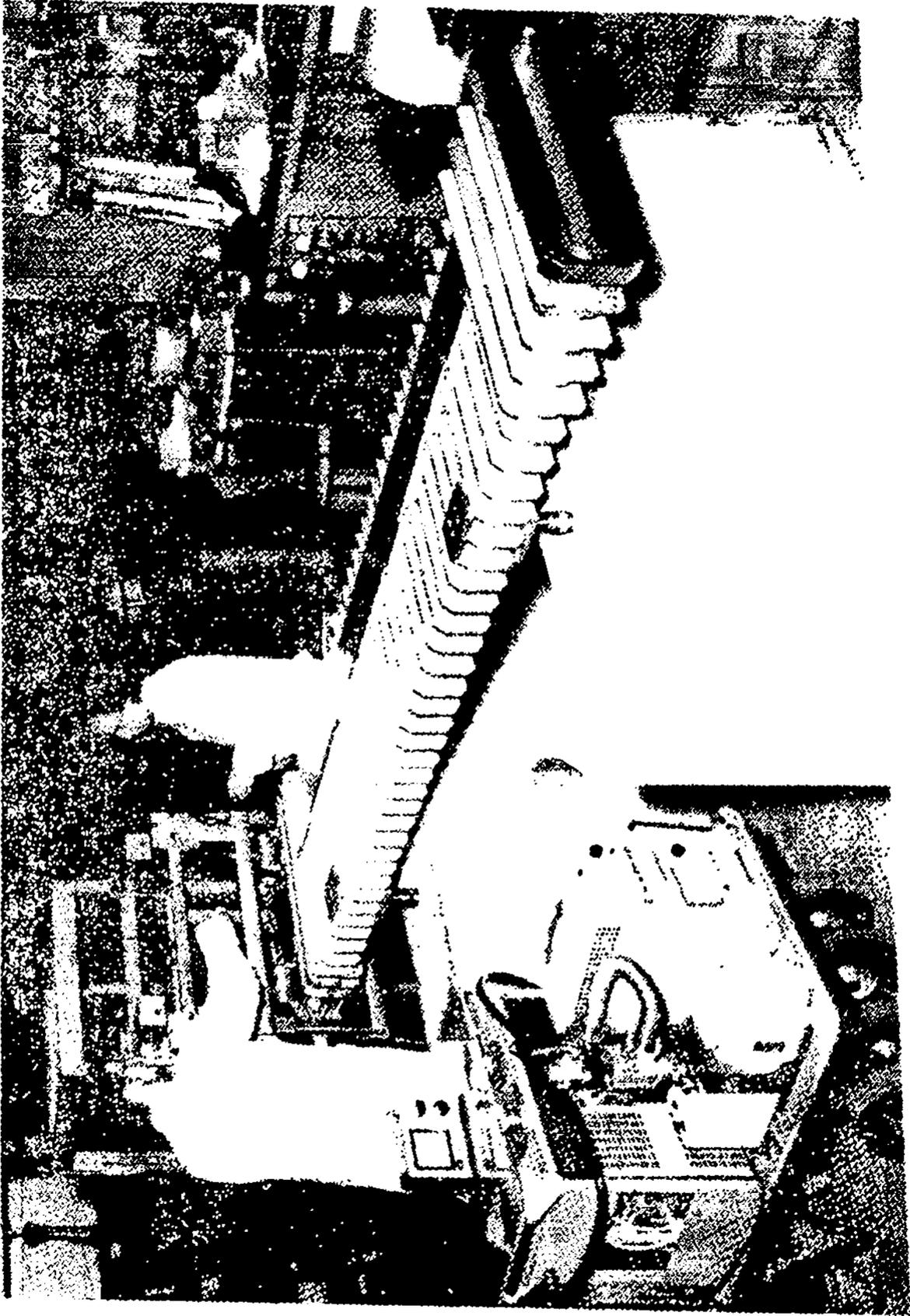


FIG. 19 Test des lèvres d'étanchéité de la bride mâle

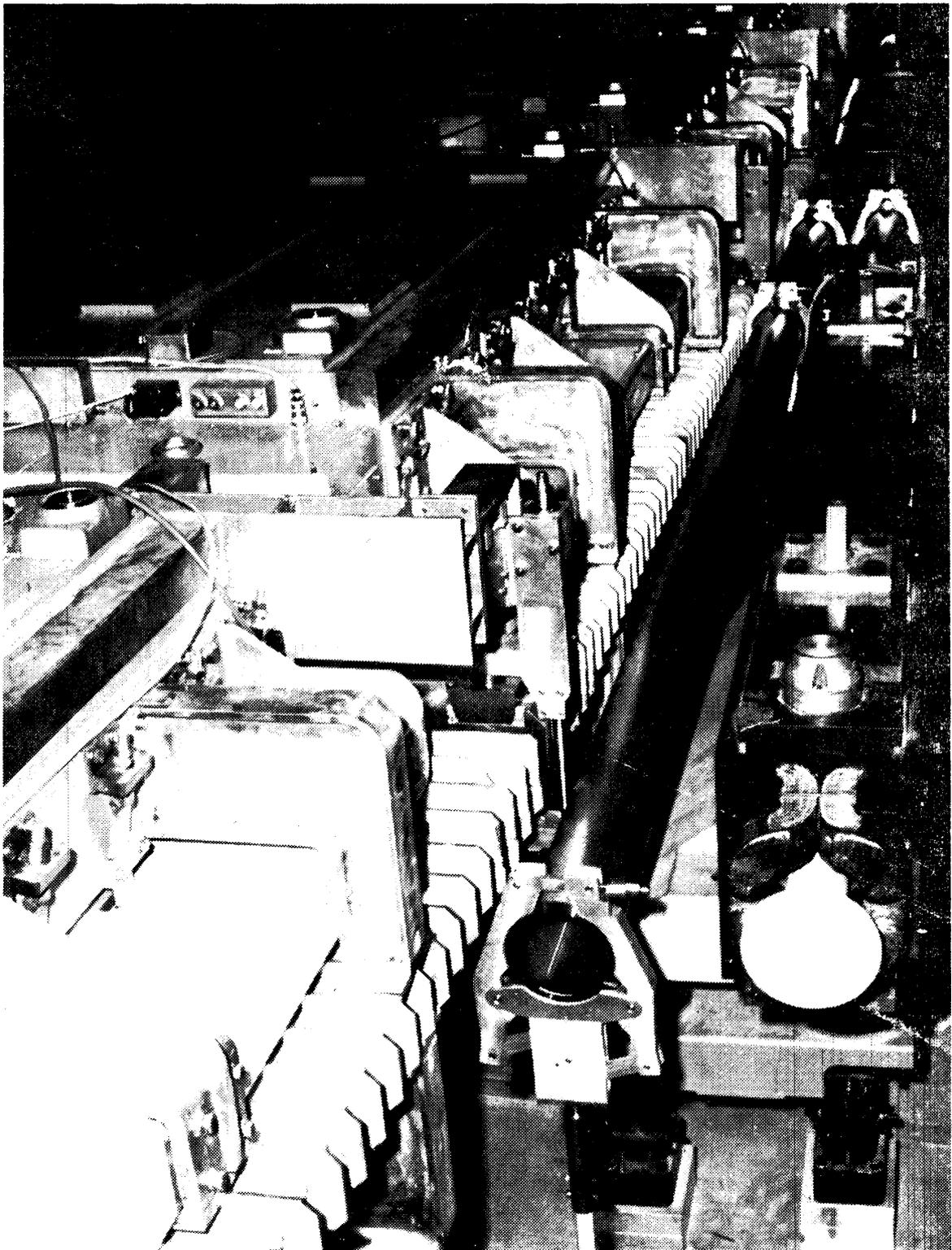


Fig. 20 Vue d'ensemble des chambres à vide élargies MCA ZONE CIBLES Ouest, SPS-EA