



ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE

ISR-VA/68-13

LA GEOMETRIE DU FAISCEAU ET DE LA
CHAMBRE A VIDE DES ISR

par

E. Fischer, J-C. Godot, E. Keil, J. Voss^{*)}

Genève - le 27 mars 1968

*) Permanent address: Stanford Linear Accelerator Center (SLAC),
Stanford, California (USA).

100

100
100

100

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
Résumé	1
1. Base de l'étude	2
2. Géométrie du faisceau	2
3. Dimensions du faisceau	3
4. Construction des chambres à vide pour les aimants principaux	8
5. Conclusions	11
Tableau I	13
Tableau II	14
Tableau III	15
Figures	
Appendice	

RESUME

La discussion suivante servira surtout de référence pour la géométrie, la position et les dimensions du faisceau dans les ISR (Intersecting Storage Rings) aux endroits spécifiques des aimants et de la chambre à vide.

Deux conditions sont étudiées: La première correspond à l'injection des protons et à leur accumulation. La seconde correspond à la situation à partir du moment où les dimensions du faisceau se sont élargies par collisions avec les molécules de gaz résiduels jusqu'à leurs valeurs maximales.

Ce travail d'établissement des caractéristiques du faisceau a été fait pour pouvoir construire la chambre à vide et pour servir de référence à de futures modifications.

1. BASE DE L'ETUDE

La base de cette étude est la liste de paramètres ISR (révision 3) ISR-TH/67-18 du 29 juin 1967.

Une copie de cette liste est incluse en appendice. Comme il se peut que les paramètres changent, on devra au moment d'une étude future envisager l'effet d'une éventuelle modification. La figure 1 montre la disposition générale des anneaux de stockage.

2. GEOMETRIE DU FAISCEAU

La base de la géométrie du faisceau est une orbite de référence, appelée orbite d'équilibre. Cette orbite peut être définie comme étant la seule orbite pour laquelle l'angle de déflexion dans un aimant focalisant est égal à l'angle de déflexion dans un aimant défocalisant.

La base de la géométrie d'un bloc d'aimant rectiligne à gradient est une ligne droite de référence, appelée axe de l'aimant. Elle est située au plan médian au milieu de l'entrefer de l'aimant.

La position de l'orbite d'équilibre dans un aimant F ou D est déterminée par la condition suivante: l'intégrale du champ magnétique B le long de l'orbite d'équilibre (C) est égal à l'intégrale le long de l'axe de l'aimant

$$\int_C B(x,s) ds = \int_{-\infty}^{+\infty} B(0,s) ds \quad (1)$$

Ici, x est la distance radiale de l'axe de l'aimant à l'orbite d'équilibre et s est la coordonnée longitudinale.

L'orbite d'équilibre x(s) dans les aimants focalisants ou défocalisants peut être décrite en bonne approximation par

une parabole. Ceci entraîne que l'axe de l'aimant divise la flèche dans le rapport $1/3$ à $2/3$. Ce rapport est utilisé dans les figures 2 et 3 qui montrent la position relative de l'axe de l'aimant et de celle de l'orbite d'équilibre dans un aimant court et long, respectivement.

Le résultat géométrique peut être utilisé pour calculer, dans l'approximation d'un champ magnétique à bords raides, la distance entre l'orbite d'équilibre et l'axe de l'aimant à différents endroits d'une unité d'aimant, d'une bride de raccordement à l'autre.

Les résultats sont exposés dans les tableaux I et II, respectivement, pour les unités d'aimants courtes et longues. Il faut noter que la face de la bride gauche (vue du centre des anneaux de stockage) est toujours à une distance de 424 mm de l'aimant (court ou long) et la face de la bride droite toujours à une distance de 411 mm.

3. DIMENSIONS DU FAISCEAU

L'orbite d'un faisceau réel possède une déviation systématique de l'orbite d'équilibre en fonction de la quantité de mouvement des protons et une déviation accidentelle causée par les erreurs des champs magnétiques (distorsion de l'orbite fermée). Un faisceau réel possède, en outre, une largeur et une hauteur à cause des oscillations bétatroniques horizontales et verticales.

Nous étudions deux conditions différentes:

1. vers la fin de l'injection quand il y a déjà un ensemble stocké presque complet mais où la dernière fraction du faisceau injectée circule encore sur l'orbite d'injection,
2. à partir du moment où l'injection et l'accumulation sont terminées, où l'aimant inflecteur pulsé "fast kicker magnet" est retiré radialement de l'ouverture de la chambre à vide, où l'ensemble du faisceau stocké est ramené le mieux possible

autour de l'orbite d'équilibre par augmentation du champ magnétique, et où le faisceau s'est élargi par l'effet des collisions avec les molécules des gaz résiduels jusqu'à ses dimensions maximales.

La première condition est illustrée par les figures 4a et 4b. Les dimensions d'un faisceau, c'est-à-dire sa largeur et sa hauteur, ainsi que les distortions probables des orbites fermées, varient autour des anneaux. La figure 4a se rapporte à l'azimut où l'encombrement horizontal a son maximum et la figure 4b à l'azimut où l'encombrement vertical a son maximum. Les régions hachurées sont les sections occupées par les faisceaux en absence de toute distortion des orbites.

L'ellipse de gauche est le faisceau injecté circulant sur l'orbite idéale d'injection. Sa largeur et sa hauteur, déterminées par les amplitudes des oscillations bétatroniques, sont de 28.0 par 12.2 mm pour la figure 4a et de 13.6 par 20.2 mm pour la figure 4b. En général, la largeur $W(s)$ du faisceau varie selon

$$W(s) = 28.0 \sqrt{\beta_x(s)/\beta_x(s_1)} \quad (\text{en mm}) \quad (2)$$

$$\text{avec } \beta_x(s_1) = (\beta_x)_{\max} = 41.253 \text{ m}$$

et la hauteur $H(s)$ selon

$$H(s) = 20.2 \sqrt{\beta_z(s)/\beta_z(s_2)} \quad (\text{en mm}) \quad (3)$$

$$\text{avec } \beta_z(s_2) = (\beta_z)_{\max} = 50.396 \text{ m}$$

$\beta_x(s)$ et $\beta_z(s)$ sont des fonctions déterminées par la structure de focalisation. L'indice x se rapporte à la dimension horizontale, l'indice z à la dimension verticale. La section du faisceau est dessinée comme ayant une forme purement elliptique. En effet, la section d'un faisceau réel ne diffère jamais beaucoup d'une ellipse.

La partie rectangulaire à bouts elliptiques de droite est l'ensemble du faisceau stocké. La largeur totale de cette partie se compose de la largeur déterminée par les amplitudes bêta-troniques et de l'écart radial entre les orbites fermées, relatives à la plus petite et à la plus grande quantité de mouvement. Cet écart, ainsi que l'écart entre l'orbite d'injection et la première orbite du faisceau stocké est proportionnel à une autre fonction $\alpha_p(s)$, appelée en anglais "momentum compaction function". Les écarts $E(s)$ se composent numériquement

$$\text{pour fig. 4a: } E(s_1) = 43 + 46 = 89 \text{ mm}$$

$$\text{pour fig. 4b: } E(s_2) = 28.4 + 30.4 = 58.8 \text{ mm .}$$

L'écart de 46 mm à s_1 correspond à la dispersion maximum de la quantité de mouvement de 2 %. L'écart total entre l'orbite d'injection et l'orbite du proton ayant la plus grande quantité de mouvement varie azimuthalement selon

$$E(s) = 89 \frac{\alpha_p(s)}{\alpha_p(s_1)} \quad (\text{en mm}) \quad (4)$$

Les erreurs du champ et de l'alignement des aimants, conjuguées à d'autres, causent une distorsion des orbites fermées réelles par rapport aux orbites idéales. La probabilité d'une déviation dans une des deux dimensions est la plus grande, là où la fonction bêta de cette dimension a son maximum. Les tolérances sont fixées de façon telle que la distorsion horizontale probable à l'azimut s_1 soit inférieure à 16.5 mm et la distorsion verticale probable à l'azimut s_2 inférieure à 11.0 mm. En général, les distorsions probables $D(s)$ varient autour des anneaux comme la largeur et la hauteur d'un faisceau, c'est-à-dire proportionnellement à la racine carrée des fonctions bêta:

$$D_x(s) = \pm 16.5 \sqrt{\beta_x(s)/\beta_x(s_1)} \quad (\text{en mm}) \quad (5)$$

$$D_z(s) = \pm 11.0 \sqrt{\beta_z(s)/\beta_z(s_2)} \quad (\text{en mm}) \quad (6)$$

Les contours pointillés dans les figures 4a et 4b donnent l'encombrement total du faisceau, c'est-à-dire l'ouverture minimum qui doit être disponible pour une injection et accumulation sans pertes.

L'encombrement total en fonction de s s'exprime par

$$T_H(s) = W(s) + E(s) + 2D_x(s) \quad (7)$$

$$T_V(s) = H(s) + 2D_z(s) \quad (8)$$

où T_H est l'encombrement total horizontal et T_V l'encombrement total vertical. Après substitution, on a

$$T_H(s) = 61 \sqrt{\beta_x(s)/\beta_x(s_1)} + 89 \alpha_p(s)/\alpha_p(s_1) \quad (9)$$

$$T_V(s) = 42.2 \sqrt{\beta_z(s)/\beta_z(s_2)} \quad (10)$$

Les figures 5a et b montrent la section du faisceau final (deuxième condition, voir p. 4) aux mêmes azimuts s_1 et s_2 que les figures 4a et b. l'écart des orbites fermées ("stack width") de 46 mm à s_1 reste le même, ainsi que les distorsions probables des orbites fermées. Cependant les amplitudes des oscillations bêta-troniques sont agrandies sous l'influence des collisions multiples avec les molécules des gaz résiduels et le faisceau est élargi jusqu'aux limites données par l'ouverture de la chambre à vide.

L'ouverture verticale est de 50 mm, dont 22 mm (à l'azimut s_2) sont perdus à cause des distorsions probables des orbites fermées. Le reste de 2 fois 14 mm est disponible pour l'amplitude maximale

des oscillations bétatroniques verticales. Un proton, dont l'amplitude dépasse 14 mm se heurte contre la chambre et est perdu. Evidemment, si l'on arrive à corriger les distorsions verticales des orbites fermées avec une tolérance meilleure que ± 11 mm, l'amplitude maximale des oscillations bétatroniques sera plus grande que 14 mm.

L'ouverture horizontale est de 150 mm, dont 33 mm sont perdus (à l'azimut s_1) par les distorsions probables des orbites fermées et dont 46 mm sont occupés par l'écart des orbites fermées pour une dispersion de la quantité de mouvement de 2 %. Le reste de 2 fois 35.5 mm est disponible pour l'amplitude maximale des oscillations bétatroniques horizontales.

En formules, la variation de l'encombrement horizontal et vertical est exprimée par

$$T_H(s) = 104 \sqrt{\beta_x(s)/\beta_x(s_1) + 46 \alpha_p(s)/\alpha_p(s_1)} \quad (11)$$

$$T_V(s) = 50 \sqrt{\beta_z(s)/\beta_z(s_2)} \quad (12)$$

Il faut remarquer, que la section du faisceau comme dessinée dans les figures 5a et b est toujours une idéalisation. Il est, par exemple, possible que la distorsion des orbites fermées dépende de la quantité de mouvement. Dans ce cas, les amplitudes bétatroniques verticales varient également et la partie centrale de la section du faisceau peut être trapézoïdale, ou autre, au lieu de rectangulaire. En outre, il est possible que le grand axe de la section du faisceau soit incliné par rapport au plan médian.

Un programme pour un ordinateur électronique a été dressé pour calculer les encombrements totaux selon les expressions (9), (10), (11) et (12). Le "print-out" original des résultats présente les fonctions $\alpha_p(s)$, $\beta_x(s)$ et $\beta_z(s)$ sur lesquelles le calcul est basé, ainsi que la largeur et la hauteur du faisceau

(éqs. (2) et (3), les distorsions probables des orbites fermées (éqs (5) et (6)) et les écarts des orbites fermées (stack width). Le programme reste disponible pour répéter le calcul pour de nouvelles variantes.

Le tableau III présente dans les quatre colonnes de droite l'encombrement horizontal et vertical du faisceau pendant l'injection et l'accumulation et pour le faisceau final. La première colonne donne le numéro d'ordre au cadre du programme. La deuxième colonne donne la dénomination du composant. Les numéros dans cette colonne se rapportent à la disposition générale des ISR (voir fig. 1). Les numéros impairs sont valables pour l'anneau 1 (protons circulant en sens inverse des aiguilles d'une montre), les numéros pairs pour l'anneau 2 (protons circulant dans le sens des aiguilles d'une montre). Puisque la structure se répète quatre fois pour chaque anneau, les encombrements donnés pour un composant sont aussi valables pour sept autres composants. Par exemple, les valeurs indiquées pour les aimants courts focalisants 102 et 203 sont aussi valables pour les aimants 302, 502, 702, 403, 603 et 803. La troisième colonne indique les positions sur chaque composant.

Les positions appelées "repère" ont été introduites pour les besoins du calcul et elles ne sont pas matérialisées sur la chambre à vide. La quatrième colonne indique la distance de chaque position à sa suivante immédiate.

4. CONSTRUCTION DES CHAMBRES A VEDE POUR LES AIMANTS PRINCIPAUX

La figure 6 montre la section exacte du tube pseudo-elliptique prévue pour les ISR avec toutes les tolérances. Ce tube est l'élément de chambre à vide placé dans l'entrefer de l'aimant. La combinaison des différentes tolérances de fabrication et la déformation de la chambre sous l'effet de la pression atmosphérique conduit à l'épure de la fig. 7. Elle montre dans le cas le plus défavorable une largeur libre de 158 mm au lieu de 161 mm pour un tube idéal.

La partie pseudo-elliptique de la chambre s'étend d'un bord effectif du champ magnétique jusqu'à l'autre. Les deux extrémités entre les bords effectifs et les brides de raccordement sont faites de tubes circulaires d'un diamètre intérieur de 161 ± 1 mm. Les brides et les parties circulaires sont centrées sur l'orbite d'équilibre.

La transition entre les sections circulaires et elliptiques se fait par des pièces d'une forme spéciale. Les extrémités du tube de section elliptique font un angle $\theta/2$ avec un plan normal à l'axe de la chambre, θ est l'angle de déflexion introduit par un bloc d'aimant. Tous les autres tubes sont coupés perpendiculairement à leurs axes. Les pièces de transition doivent, en plus, introduire un décalage radial d'environ 5 mm, c'est-à-dire de la moitié de la flèche de l'orbite d'équilibre. La valeur exacte de ce décalage sera déterminée dans ce qui suit.

Le tableau III montre que l'encombrement horizontal atteint sa valeur maximale dans les deux aimants courts focalisants 214 et 250 (ou 315 et 351 pour l'anneau 1). Au total, il existe pour chaque anneau huit aimants courts focalisants où l'encombrement atteint la même valeur maximale. Les chambres à vide de ces aimants jouent le rôle de collimateurs en limitant l'ouverture horizontale pour tout l'anneau. C'est pourquoi, les chambres de ces aimants doivent être posées avec un soin particulier. Nous commencerons donc par l'étude de la géométrie de ces chambres.

Les endroits critiques de la chambre sont aux deux bords effectifs du champ et au centre. Les valeurs de l'encombrement horizontal à ces endroits pendant l'injection et l'accumulation sont:

bord effectif	133.5 mm
centre	145.7 mm
bord effectif	149.0 mm .

Le maximum est très proche du deuxième bord effectif. En admettant que la chambre est parallèle à l'aimant et que la flèche de l'orbite d'équilibre est de 10.7 mm, l'on voit que l'encombrement total est de

$$\frac{145.7}{2} + 10.7 + \frac{149.0}{2} = 158.1 \text{ mm} .$$

Cela est exactement l'ouverture de la chambre dans le cas le plus défavorable démontré dans la figure 7. Pour exploiter au mieux possible l'ouverture disponible, l'axe de la chambre doit partager la flèche de l'orbite d'équilibre en 6.2 et 4.5 mm comme montré dans la figure 8. La valeur du décalage entre la chambre pseudo-elliptique et la chambre circulaire doit être de 4.5 mm, si le décalage est placé au bord effectif du champ. En fait, pour des raisons de construction, ce décalage est placé à 60 mm de la face de l'aimant au lieu de 73.5 mm et il ne doit être que de 4.3 mm.

Puisque l'axe de l'aimant partage la flèche de l'orbite d'équilibre en 3.6 et 7.1 mm au lieu de 6.2 et 4.5 mm, l'écart entre l'axe de l'aimant et l'axe de la chambre est de 2.6 mm.

Dans les autres aimants courts - surtout dans les aimants courts défocalisants - la mise en place de la chambre dans le plan horizontal n'est pas critique. Cependant, pour la standardisation, on a choisi le même écart de 2.6 mm entre l'axe de l'aimant et l'axe de la chambre pour tous les aimants courts.

La quatrième colonne du tableau I donne la distance de l'orbite d'équilibre à l'axe de la chambre pour la position choisie.

La figure 9 montre l'ensemble des aimants courts avec les chambres à vide et la figure 10 plus détaillée les deux extrémités de la chambre d'un aimant focalisant. La seule différence de la chambre d'un aimant court défocalisant est l'orientation des tubes pour les passages HT des électrodes d'extraction.

Dans la région des aimants longs, c'est-à-dire aux arcs extérieurs, l'encombrement horizontal ne dépasse jamais 134 mm. Il n'y a donc, pas de problèmes.

On a décidé, pour simplifier la fabrication de faire les mêmes extrémités de chambre pour les unités longues et courtes. Ces extrémités, dont il y a un type gauche et un type droit vont de la bride de raccordement jusqu'à la soudure entre la pièce de transition et le tube pseudo-elliptique.

Pour les unités courtes, on a choisi un décalage radial de 4.3 mm dans les pièces de transition près des bords effectifs du champ magnétique. La même valeur est donc adoptée pour les unités longues. Ainsi la distance de l'orbite d'équilibre à l'axe de la chambre est complètement déterminée pour toute l'unité comme indiqué dans la quatrième colonne du tableau II.

La distance de l'axe de la chambre à l'axe de l'aimant d'une unité longue devient 2.4 mm, au lieu de 2.6 mm pour les unités courtes. La légère différence vient du fait que l'angle de déflexion dans un aimant long est un peu moins que deux fois l'angle de déflexion dans un aimant court.

La figure 11 montre l'ensemble des aimants longs avec les chambres à vide et la figure 12 plus détaillée les extrémités de la chambre d'un aimant long focalisant.

5. CONCLUSIONS

Nous avons calculé l'encombrement total horizontal et vertical des faisceaux des ISR.

Basé sur ce calcul, nous avons déterminé la géométrie optimale des chambres pour les unités courtes et longues des aimants principaux.

L'axe de la chambre pseudo-elliptique dans l'entrefer des aimants est déplacé par rapport à l'axe de l'aimant vers l'intérieur des anneaux de 2.6 mm pour les unités courtes et de : 2.4 mm pour les unités longues.

La chambre ronde de la bride de raccordement jusqu'au bord effectif du champ est centrée sur l'orbite d'équilibre.

Au bord effectif du champ un décalage radial de 4.5 mm est nécessaire.

Il y a pour chaque anneau huit aimants focalisants courts, (214, 250, 414, 450, 614, 650, 814, 850 et 115, 151, 315, 351, 515, 551, 715, 751) où l'encombrement horizontal total, c'est-à-dire l'ouverture minimale, est égal à l'ouverture disponible sous les conditions les plus défavorables dans les tolérances fixées. La fabrication et la mise en place de ces 16 chambres doivent être particulièrement surveillées.

Tableau I

Ecart radial dans un aimant court

Position	Distance jusqu'à la prochaine position mm	Distance de l'orbite d'équilibre à l'axe de l'aimant*) mm	Distance de l'orbite d'équilibre à l'axe de la chambre*) mm
bride gauche	350.5	12.9	0 (10.3)
bord effectif du champ magnétique	1293.5	7.1	4.5
centre de l'aimant court	1293.5	-3.6	-6.2
bord effectif du champ magnétique	337.5	7.1	4.5
bride droite	-	12.1	0 (10.1)

La distance de l'axe de la chambre à l'axe de l'aimant est de 2.6 mm.

*) Une distance positive est définie comme étant dirigée vers l'extérieur de l'anneau.

Tableau II

Ecart radial dans un aimant long

Position	Distance jusqu'à la prochaine position mm	Distance de l'orbite d'équilibre à l'axe de l'aimant*) mm	Distance de l'orbite d'équilibre à l'axe de la chambre*) mm
bride gauche	350.5	12.6	0 (9.2)
bord effectif du champ magnétique	1279.0	6.9	4.5
centre du champ effectif	1279.0	-3.5	-5.9
bord effectif du champ magnétique	30.5	6.9	4.5
centre de l'aimant long	30.5	7.4	5.0
bord effectif du champ magnétique	1279.0	6.9	4.5
centre du champ effectif	1279.0	-3.5	-5.9
bord effectif du champ magnétique	337.5	6.9	4.5
bride droite	-	12.4	0 (10.0)

La distance de l'axe de la chambre à l'axe de l'aimant est de 2.4 mm.

*) Une distance positive est définie comme étant dirigée vers l'extérieur de l'anneau.

Tableau III

Encombrement horizontal et vertical
pour le faisceau pendant l'injection
et l'accumulation et pour le faisceau final

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
1	Section d'inter- action A_2 100/201	repère	0.3910	130.6	25.0	119.1	29.7
2	-----	bride	0.3505	130.7	25.4	119.3	30.1
3		bord eff.	0.0735	130.7	25.7	119.4	30.4
4	aimant	bord réel	1.2200	130.8	25.7	119.4	30.5
5	court foc.	centre eff.	1.2200	127.6	27.6	116.7	32.7
6	102/203	bord réel	0.0735	117.6	31.3	107.6	37.1
7		bord eff.	0.3375	116.9	31.6	106.9	37.4
8	-----	bride	0.4040	113.2	32.8	103.6	38.9
9	Section droite A_0 104/205	centre	0.3910	108.9	34.4	99.6	40.7
10	-----	bride	0.3505	104.8	35.9	95.6	42.5
11		bord eff.	0.0735	101.1	37.2	92.5	44.1
12		bord réel	1.2055	100.3	37.5	91.8	44.4
13		centre eff.	1.2345	90.9	41.0	83.4	48.6
14		bord réel	0.0445	88.0	42.2	80.8	50.0
15	aimant	bord eff.	0.0305	88.0	42.2	80.9	50.0
16	long défoc.	centre aim.	0.0305	88.0	42.2	80.9	50.0
17	106/207	bord eff.	0.0445	88.0	42.2	80.9	50.0
18		bord réel	1.2345	88.0	42.2	80.9	50.0
19		centre eff.	1.2055	91.6	40.9	84.5	48.5
20		bord réel	0.0735	101.6	37.3	94.0	44.2
21		bord eff.	0.3375	102.4	37.0	94.8	43.9
22	-----	bride	0.4040	106.2	35.7	98.2	42.3
23	Section droite A_0 108/209	centre	0.3910	110.7	34.2	102.6	40.5
24	-----	bride	0.3505	115.0	32.7	106.9	38.7
25		bord eff.	0.0735	119.0	31.3	110.5	37.1
26		bord réel	1.2055	119.8	31.1	111.3	36.8
27		centre eff.	1.2345	130.2	27.4	121.2	32.4
28		bord réel	0.0445	133.8	25.3	124.6	30.0

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
29		bord eff.	0.0305	133.8	25.3	124.6	30.0
30	aimant	centre aim.	0.0305	133.8	25.3	124.6	29.9
31		bord eff.	0.0445	133.8	25.2	124.6	29.9
32	long foc. 110/211	bord réel	1.2345	133.8	25.2	124.6	29.9
33		centre eff.	1.2055	130.0	24.9	120.9	29.5
34		bord réel	0.0735	119.5	26.2	110.7	31.0
35		bord eff.	0.3375	118.6	26.3	109.9	31.2
36	-----	bride	0.4040	114.8	26.9	106.3	31.9
37	Section droite A ₀ 112/213	centre	0.3910	110.2	27.6	101.8	32.7
38	-----	bride	0.3505	105.8	28.3	97.4	33.6
39		bord eff.	0.0735	101.9	29.0	93.9	34.3
40		bord réel	1.2055	101.1	29.1	93.1	34.5
41		centre eff.	1.2345	91.0	30.5	83.4	36.2
42		bord réel	0.0445	87.2	30.3	79.5	35.8
43	aimant	bord eff.	0.0305	87.2	30.2	79.5	35.8
44		long défoc. 114/215	centre aim.	0.0305	87.2	30.2	79.5
45		bord eff.	0.0445	87.1	30.2	79.4	35.7
46		bord réel	1.2345	87.1	30.1	79.4	35.7
47		centre eff.	1.2055	89.9	28.1	81.7	33.3
48		bord réel	0.0735	99.1	24.6	89.8	29.2
49		bord eff.	0.3375	99.9	24.4	90.5	28.9
50	-----	bride	0.4040	103.4	23.2	93.5	27.5
51	Section droite A ₀ 116/217	centre	0.3910	107.6	21.8	97.4	25.8
52	-----	bride	0.3505	111.7	20.5	101.3	24.3
53		bord eff.	0.0735	115.5	19.3	104.5	22.9
54		bord réel	1.2055	116.3	19.1	105.2	22.6
55		centre eff.	1.2345	126.0	15.8	114.1	18.8
56		bord réel	0.0445	129.3	14.0	116.9	16.5
57	aimant	bord eff.	0.0305	129.3	13.9	116.9	16.5
58		long foc. 118/219	centre aim.	0.0305	129.3	13.9	116.9
59		bord eff.	0.0445	129.3	13.9	116.9	16.4
60		bord réel	1.2345	129.3	13.8	116.9	16.4
61		centre eff.	1.2055	125.5	13.6	113.2	16.1
62		bord réel	0.0735	115.3	14.9	103.5	17.7
63		bord eff.	0.3375	114.4	15.0	102.8	17.8
64	-----	bride	0.4040	110.7	15.6	99.4	18.5
65	Section droite A ₀ 120/221	centre	0.3910	106.3	16.4	95.2	19.4
66	-----	bride	0.3505	102.1	17.2	91.1	20.4

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
67		bord eff.	0.735	98.4	17.9	87.8	21.2
68		bord réel	1.2055	97.6	18.1	87.1	21.4
69		centre eff.	1.2345	88.0	20.3	78.4	24.0
70		bord réel	0.0445	84.8	21.6	75.4	25.5
71	aimant	bord eff.	0.0305	84.8	21.6	75.4	25.6
72	long défoc.	centre aim.	0.0305	84.8	21.6	75.4	25.6
73	122/223	bord eff.	0.0445	84.8	21.6	75.4	25.6
74		bord réel	1.2345	84.8	21.6	75.4	25.6
75		centre eff.	1.2055	88.2	21.8	78.6	25.9
76		bord réel	0.0735	97.9	21.0	87.7	24.8
77		bord eff.	0.3375	98.7	20.9	88.4	24.7
78	-----	bride	0.4040	102.3	20.5	91.7	24.3
79	Section droite A ₀ 124/225	centre	0.3910	106.8	20.1	95.9	23.8
80	-----	bride	0.3505	111.1	19.7	100.1	23.3
81		bord eff.	0.0735	114.9	19.3	103.6	22.9
82		bord réel	1.2055	115.8	19.3	104.4	22.8
83		centre eff.	1.2345	126.1	18.9	114.2	22.4
84		bord réel	0.0445	129.9	19.9	118.0	23.6
85	aimant	bord eff.	0.0305	129.9	20.0	118.1	23.7
86	long foc.	centre aim.	0.0305	130.0	20.0	118.1	23.7
87	126/227	bord eff.	0.0445	130.0	20.1	118.1	23.8
88		bord réel	1.2345	130.0	20.1	118.1	23.8
89		centre eff.	1.2055	126.7	22.7	115.3	26.8
90		bord réel	0.0735	116.9	26.7	106.4	31.6
91		bord eff.	0.3375	116.2	26.9	109.7	31.9
92	-----	bride	0.4040	112.6	28.3	102.5	33.5
93	Section droite A ₀ 128/229	centre	0.3910	108.3	29.9	98.5	35.4
94	-----	bride	0.3505	104.2	31.5	94.6	37.3
95		bord eff.	0.0735	100.5	32.9	91.5	39.0
96		bord réel	1.2055	99.7	33.2	90.8	39.3
97		centre eff.	1.2345	90.5	37.1	82.6	44.0
98		bord réel	0.0445	87.6	39.0	80.2	46.2
99	aimant	bord eff.	0.0305	87.6	39.0	80.2	46.2
100	long défoc.	centre aim.	0.0305	87.6	39.0	80.2	46.2
101	130/231	bord eff.	0.0445	87.6	39.0	80.3	46.3
102		bord réel	1.2345	87.6	39.1	80.3	46.3
103		centre eff.	1.2055	91.3	38.6	84.1	45.8
104		bord réel	0.0735	101.4	36.0	93.7	42.7
105		bord eff.	0.3375	102.2	35.8	94.5	42.4

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encomb- brement horiz.	Encomb- brement vertic.	Encomb- brement horiz.	Encomb- brement vertic.
106	-----	bride	0.4040	106.0	34.8	98.0	41.2
107	Section droite A ₀ 132/233	centre	0.3910	110.5	33.6	102.3	39.8
108	-----	bride	0.3505	114.9	32.4	106.8	38.4
109		bord eff.	0.0735	118.9	31.3	110.4	37.1
110		bord réel	1.2055	119.7	31.1	111.2	36.9
111		centre eff.	1.2345	130.2	28.4	121.3	33.7
112		bord réel	0.0445	133.9	27.5	124.8	32.6
113	aimant	bord eff.	0.0305	133.9	27.5	124.8	32.6
114	long foc.	centre aim.	0.0305	133.9	27.5	124.8	32.6
115	134/235	bord eff.	0.0445	133.9	27.5	124.8	32.6
116		bord réel	1.2345	133.9	27.5	124.8	32.6
117		centre eff.	1.2055	130.2	28.4	121.3	33.7
118		bord réel	0.0735	119.7	31.1	111.2	36.9
119		bord eff.	0.3375	118.9	31.3	110.4	37.1
120	-----	bride	0.4040	115.1	32.3	106.8	38.3
121	Section droite A ₀ 136/237	centre	0.3910	110.5	33.6	102.3	39.8
122	-----	bride	0.3505	106.1	34.7	98.0	41.2
123		bord eff.	0.0735	102.2	35.8	94.5	42.4
124		bord réel	1.2055	101.4	36.0	93.7	42.7
125		centre eff.	1.2345	91.3	38.6	84.1	45.8
126		bord réel	0.0445	87.6	39.1	80.3	46.3
127	aimant	bord eff.	0.0305	87.6	39.0	80.3	46.3
128	long défoc.	centre aim.	0.0305	87.6	39.0	80.2	46.2
129	138/239	bord eff.	0.0445	87.6	39.0	80.2	46.2
130		bord réel	1.2345	87.6	39.0	80.2	46.2
131		centre eff.	1.2055	90.5	37.1	82.6	44.0
132		bord réel	0.0735	99.7	33.2	90.8	39.3
133		bord eff.	0.3375	100.5	32.9	91.5	39.0
134	-----	bride	0.4040	104.0	31.5	94.6	37.4
135	Section droite A ₀ 140/241	centre	0.3910	108.3	29.9	98.5	35.4
136	-----	bride	0.3505	112.4	28.3	102.5	33.6
137		bord eff.	0.0735	116.2	26.9	105.7	31.9
138		bord réel	1.2055	116.9	26.7	106.4	31.6
139		centre eff.	1.2345	126.7	22.7	115.3	26.8
140		bord réel	0.0445	130.0	20.1	118.1	23.8

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
141	aimant	bord eff.	0.0305	130.0	20.1	118.1	23.8
142	long foc.	centre aim.	0.0305	130.0	20.0	118.1	23.7
143	142/243	bord eff.	0.0445	129.9	20.0	118.1	23.7
144		bord réel	1.2345	129.9	19.9	118.0	23.6
145		centre eff.	1.2055	126.1	18.9	114.2	22.4
146		bord réel	0.0735	115.8	19.3	104.4	22.8
147		bord eff.	0.3375	114.9	19.3	103.6	22.9
148	-----	bride	0.4040	111.2	19.7	100.1	23.3
149	Section droite A ₀ 144/245	centre	0.3910	106.8	20.1	95.9	23.8
150	-----	bride	0.3505	102.5	20.5	91.7	24.3
151		bord eff.	0.0735	98.7	20.9	88.4	24.7
152		bord réel	1.2055	97.9	21.0	87.7	24.8
153		centre eff.	1.2345	88.2	21.8	78.6	25.9
154		bord réel	0.0445	84.8	21.6	75.4	25.6
155	aimant	bord eff.	0.0305	84.8	21.6	75.4	25.6
156	long défoc.	centre aim.	0.0305	84.8	21.6	75.4	25.6
157	146/247	bord eff.	0.0445	84.8	21.6	75.4	25.6
158		bord réel	1.2345	84.8	21.6	75.4	25.5
159		centre eff.	1.2055	88.0	20.3	78.4	24.0
160		bord réel	0.0735	97.6	18.1	87.1	21.4
161		bord eff.	0.3375	98.4	17.9	87.8	21.2
162	-----	bride	0.4040	102.0	17.2	91.1	20.4
163	Section droite A ₀ 148/249	centre	0.3910	106.3	16.4	95.2	19.4
164	-----	bride	0.3505	110.6	15.7	99.4	18.5
165		bord eff.	0.0735	114.4	15.0	102.8	17.8
166		bord réel	1.2055	115.3	14.9	103.5	17.7
167		centre eff.	1.2345	125.5	13.6	113.2	16.1
168		bord réel	0.0445	129.2	13.8	116.9	16.4
169	aimant	bord eff.	0.0305	129.3	13.9	116.9	16.4
170	long foc.	centre aim.	0.0305	129.3	13.9	116.9	16.5
171	150/251	bord eff.	0.0445	129.3	13.9	116.9	16.5
172		bord réel	1.2345	129.3	14.0	116.9	16.5
173		centre eff.	1.2055	126.0	15.8	114.1	18.8
174		bord réel	0.0735	116.3	19.1	105.2	22.6
175		bord eff.	0.3375	115.5	19.3	104.5	22.9
176	-----	bride	0.4040	111.9	20.5	101.3	24.2
177	Section droite A ₀ 152/253	centre	0.3910	107.6	21.8	97.4	25.8
178	-----	bride	0.3505	103.5	23.1	93.5	27.4

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
179		bord eff.	0.0735	99.9	24.4	90.5	28.9
180		bord réel	1.2055	99.1	24.6	89.8	29.2
181		centre eff.	1.2345	89.9	28.1	81.7	33.3
182		bord réel	0.0445	87.1	30.1	79.4	35.7
183	aimant	bord eff.	0.0305	87.1	30.2	79.4	35.7
184	long défoc.	centre aim.	0.0305	87.2	30.2	79.5	35.8
185	154/255	bord eff.	0.0445	87.2	30.2	79.5	35.8
186		bord réel	1.2345	87.2	30.3	79.5	35.8
187		centre eff.	1.2055	91.0	30.5	83.4	36.2
188		bord réel	0.0735	101.1	29.1	93.1	34.5
189		bord eff.	0.3375	101.9	29.0	93.9	34.3
190	-----	bride	0.4040	105.7	28.4	97.4	33.6
191	Section droite A ₀ 156/257	centre	0.3910	110.2	27.6	101.8	32.7
192	-----	bride	0.3505	114.7	26.9	106.3	31.9
193		bord eff.	0.0735	118.6	26.3	109.9	31.2
194		bord réel	1.2055	119.5	26.2	110.7	31.0
195		centre eff.	1.2345	130.0	24.9	120.9	29.5
196		bord réel	0.0445	133.8	25.2	124.6	29.9
197	aimant	bord eff.	0.0305	133.8	25.2	124.6	29.9
198	long foc.	centre aim.	0.0305	133.8	25.3	124.6	29.9
199	158/259	bord eff.	0.0445	133.8	25.3	124.6	30.0
200		bord réel	1.2345	133.8	25.3	124.6	30.0
201		centre eff.	1.2055	130.2	27.4	121.2	32.4
202		bord réel	0.0735	119.8	31.1	111.3	36.8
203		bord eff.	0.3375	119.0	31.3	110.5	37.1
204	-----	bride	0.4040	115.2	32.6	106.9	38.7
205	Section droite A ₀ 160/261	centre	0.3910	110.7	34.2	102.6	40.5
206	-----	bride	0.3505	106.3	35.7	98.2	42.3
207		bord eff.	0.0735	102.4	37.0	94.8	43.9
208		bord réel	1.2055	101.6	37.3	94.0	44.2
209		centre eff.	1.2345	91.6	40.9	84.5	48.5
210		bord réel	0.0445	88.0	42.2	80.9	50.0
211	aimant	bord eff.	0.0305	88.0	42.2	80.9	50.0
212	long défoc.	centre aim.	0.0305	88.0	42.2	80.9	50.0
213	162/263	bord eff.	0.0445	88.0	42.2	80.9	50.0
214		bord réel	1.2345	88.0	42.2	80.8	50.0
215		centre eff.	1.2055	90.9	41.0	83.4	48.6
216		bord réel	0.0735	100.3	37.5	91.8	44.4
217		bord eff.	0.3375	101.1	37.2	92.5	44.1

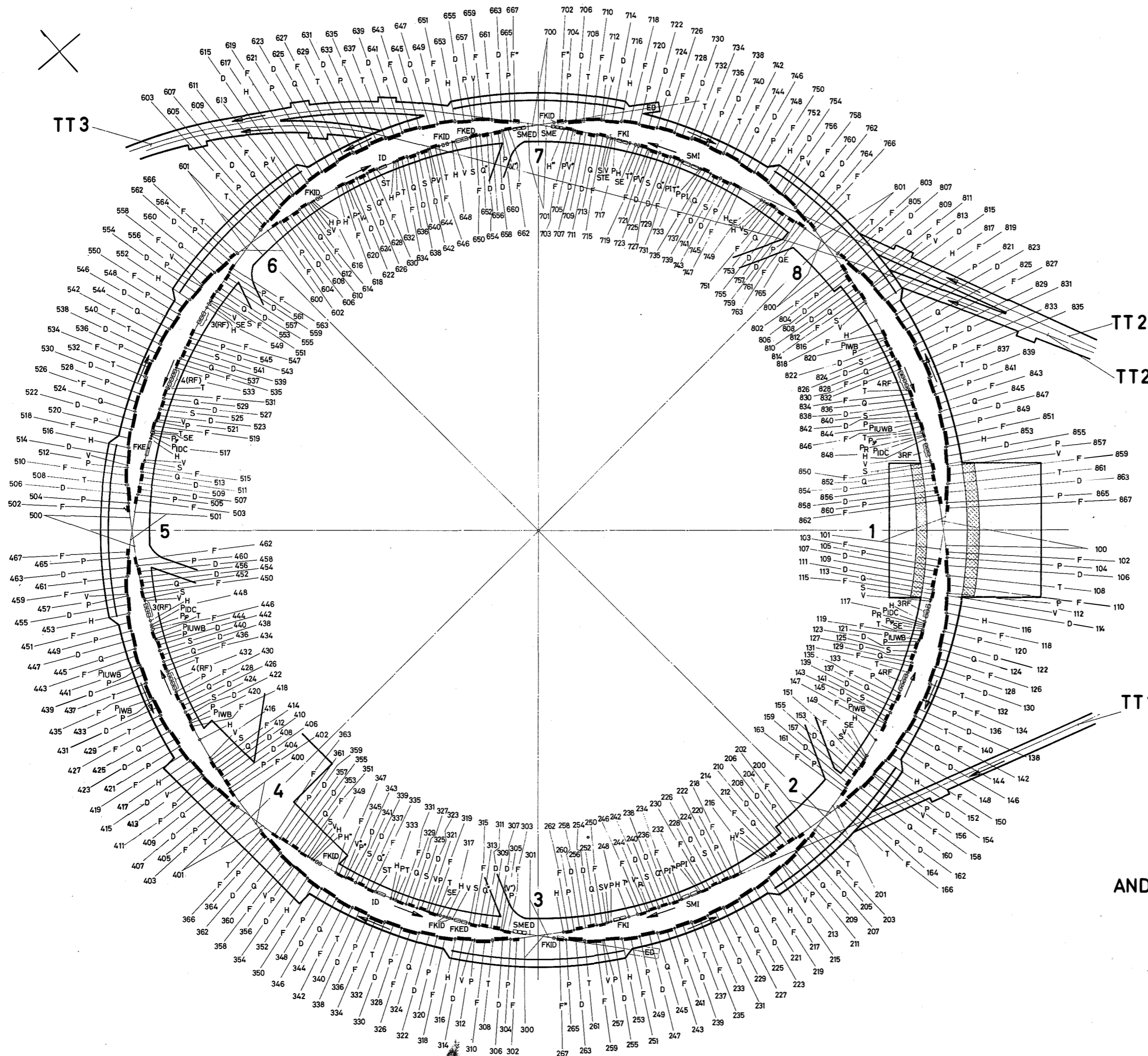
No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
218	----- Section	bride	0.4040	104.6	35.9	95.6	42.5
219	droite A ₀ 164/265	centre	0.3910	108.9	34.4	99.6	40.7
220	-----	bride	0.3505	113.1	32.9	103.6	39.0
221		bord eff.	0.0735	116.9	31.6	106.9	37.4
222	aimant	bord réel	1.2200	117.6	31.3	107.6	37.1
223	court foc.	centre eff.	1.2200	127.6	27.6	116.7	32.7
224	166/267	bord réel	0.0735	130.8	25.7	119.4	30.5
225		bord eff.	0.3375	130.7	25.7	119.4	30.4
226	-----	bride	0.4040	130.7	25.4	119.3	30.1
227	Section	repère	7.577	130.6	25.0	119.1	29.7
228	d'inter-	centre	7.577	132.1	21.8	121.6	25.8
229	action A ₂ 200/301	repère	0.3910	138.7	25.0	132.6	29.6
230	-----	bride	0.3505	139.1	25.3	133.4	30.0
231		bord eff.	0.0735	139.5	25.6	134.1	30.3
232	aimant	bord réel	1.2200	139.6	25.6	134.2	30.4
233	court foc.	centre eff.	1.2200	137.2	27.5	132.9	32.6
234	202/303	bord réel	0.0735	127.5	31.2	124.0	36.9
235		bord eff.	0.3375	126.7	31.4	123.0	37.3
236	-----	bride	0.4040	123.0	32.7	119.9	38.8
237	Section droite A ₀ 204/305	centre	0.3910	118.6	34.2	115.8	40.6
238	-----	bride	0.3505	114.4	35.7	111.7	42.3
239		bord eff.	0.0735	110.6	37.1	108.3	43.9
240	aimant	bord réel	1.2200	109.8	37.3	107.6	44.2
241	court défoc.	centre eff.	1.2200	100.2	40.9	98.9	48.4
242	206/307	bord réel	0.0735	97.5	42.0	96.6	49.8
243		bord eff.	0.3375	97.5	42.0	96.7	49.8
244	-----	bride	0.4040	97.7	42.0	97.0	49.8
245	Section	repère	0.185	97.9	42.0	97.4	49.8
246	droite A ₃	centre	0.185	98.0	42.0	97.5	49.8
247	208/309	repère	0.3910	98.1	42.0	97.7	49.8
248	-----	bride	0.3505	98.4	42.0	98.2	49.8
249		bord eff.	0.0735	98.7	42.0	98.6	49.8
250	aimant	bord réel	1.2200	98.7	42.0	98.7	49.8
251	court défoc.	centre eff.	1.2200	103.0	40.8	103.5	48.3
252	210/311	bord réel	0.0735	114.3	37.2	115.0	44.1
253		bord eff.	0.3375	115.2	37.0	115.9	43.8

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
254	----- Section	bride	0.4040	119.4	35.7	120.0	42.3
255	droite A ₀ 212/313	centre	0.3910	124.4	34.1	125.1	40.4
256	-----	bride	0.3505	129.2	32.6	130.2	38.7
257		bord eff.	0.0735	133.5	31.3	134.4	37.1
258	aimant	bord réel	1.2200	134.4	31.0	135.3	36.8
259	court foc.	centre eff.	1.2200	145.7	27.4	146.6	32.4
260	214/315	bord réel	0.0735	149.1	25.4	149.5	30.1
261		bord eff.	0.3375	149.0	25.4	149.4	30.1
262	-----	bride	0.4040	148.8	25.1	149.1	29.7
263	Section	repère	5.703	148.6	24.7	148.6	29.3
264	droite A ₄	centre	5.703	145.8	21.6	143.8	25.6
265	216/317	repère	0.3910	144.5	22.3	141.2	26.5
266	-----	bride	0.3505	144.4	22.5	141.1	26.7
267		bord eff.	0.0735	144.4	22.7	141.1	26.9
268	aimant	bord réel	1.2200	144.4	22.8	141.1	27.0
269	court foc.	centre eff.	1.2200	140.4	24.2	136.9	28.7
270	218/319	bord réel	0.0735	128.8	27.3	125.0	32.3
271		bord eff.	0.3375	127.8	27.5	124.0	32.6
272	-----	bride	0.4040	123.6	28.6	119.8	33.9
273	Section droite A ₀ 220/321	centre	0.3910	118.6	29.9	114.6	35.4
274	-----	bride	0.3505	113.7	31.2	109.4	36.9
275		bord eff.	0.0735	109.4	32.3	105.3	38.3
276	aimant	bord réel	1.2200	108.5	32.6	104.3	38.6
277	court défoc.	centre eff.	1.2200	97.0	35.6	92.4	42.2
278	222/323	bord réel	0.0735	92.2	36.6	86.7	43.4
279		bord eff.	0.3375	92.1	36.6	86.5	43.4
280	-----	bride	0.4040	91.7	36.6	85.8	43.4
281	Section	repère	0.185	91.2	36.6	85.1	43.3
282	droite A ₃	centre	0.185	91.0	36.6	84.7	43.3
283	224/325	repère	0.3910	90.9	36.6	84.4	43.3
284	-----	bride	0.3505	90.5	36.6	83.8	43.3
285		bord eff.	0.0735	90.2	36.6	83.3	43.3
286	aimant	bord réel	1.2200	90.2	36.6	83.2	43.3
287	court défoc.	centre eff.	1.2200	92.5	35.6	84.6	42.1
288	226/327	bord réel	0.0735	101.4	32.5	92.0	38.5
289		bord eff.	0.3375	102.2	32.2	92.7	38.2
290	-----	bride	0.4040	105.6	31.1	95.6	36.9
291	Section droite A ₀ 228/329	centre	0.3910	109.8	29.8	99.2	35.3

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
292	-----	bride	0.3505	113.8	28.5	102.9	33.8
293		bord eff.	0.0735	117.5	27.4	105.9	32.5
294	aimant	bord réel	1.2200	118.2	27.2	106.6	32.2
295	court foc.	centre eff.	1.2200	127.7	24.1	114.8	28.5
296	230/331	bord réel	0.0735	130.5	22.6	116.7	26.8
297		bord eff.	0.3375	130.4	22.5	116.7	26.7
298	-----	bride	0.4040	130.3	22.4	116.4	26.5
299	Section	repère	3.972	130.1	22.1	116.0	26.2
300	longue	centre	3.972	129.1	21.1	114.3	25.0
301	droite A ₆	repère	0.3910	130.1	22.1	116.0	26.2
302	-----	bride	0.3505	130.3	22.4	116.4	26.5
303		bord eff.	0.0735	130.4	22.5	116.7	26.7
304	aimant	bord réel	1.2200	130.5	22.6	116.7	26.8
305	court foc.	centre eff.	1.2200	127.7	24.1	114.8	28.5
306	234/335	bord réel	0.0735	118.2	27.2	106.6	32.2
307		bord eff.	0.3375	117.5	27.4	105.9	32.5
308	-----	bride	0.4040	113.9	28.5	102.9	33.8
309	Section droite A ₀	centre	0.3910	109.8	29.8	99.2	35.3
310	-----	bride	0.3505	105.8	31.1	95.6	36.8
311		bord eff.	0.0735	102.2	32.2	92.7	38.2
312	aimant	bord réel	1.2200	101.4	32.5	92.0	38.5
313	court défoc.	centre eff.	1.2200	92.5	35.6	84.6	42.1
314	238/339	bord réel	0.0735	90.2	36.6	83.2	43.3
315		bord eff.	0.3375	90.2	36.6	83.3	43.3
316	-----	bride	0.4040	90.5	36.6	83.8	43.3
317	Section	repère	0.185	90.9	36.6	84.4	43.3
318	droite A ₃	centre	0.185	91.0	36.6	84.7	43.3
319	240/341	repère	0.3910	91.2	36.6	85.1	43.3
320	-----	bride	0.3505	91.7	36.6	85.8	43.4
321		bord eff.	0.0735	92.1	36.6	86.5	43.4
322	aimant	bord réel	1.2200	92.2	36.6	86.7	43.4
323	court défoc.	centre eff.	1.2200	97.0	35.6	92.4	42.2
324	242/343	bord réel	0.0735	108.5	32.6	104.3	38.6
325		bord eff.	0.3375	109.4	32.3	105.3	38.3
326	-----	bride	0.4040	113.6	31.2	109.4	37.0
327	Section droite A ₀	centre	0.3910	118.6	29.9	114.6	35.6
328	-----	bride	0.3505	123.5	28.6	119.8	33.9
329		bord eff.	0.0735	127.8	27.5	124.0	32.6

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
330	aimant	bord réel	1.2200	128.8	27.3	125.0	32.3
331	court foc.	centre eff.	1.2200	140.4	24.2	136.9	28.7
332	246/347	bord réel	0.0735	144.4	22.8	141.1	27.0
333		bord eff.	0.3375	144.4	22.7	141.1	26.9
334	-----	bride	0.4040	144.4	22.5	141.1	26.7
335	Section	repère	5.703	144.5	22.3	141.2	26.5
336	longue	centre	5.703	145.8	21.6	143.8	25.6
337	droite A ₄	repère	0.3910	148.6	24.7	148.6	29.3
338	-----	bride	0.3505	148.8	25.1	149.1	29.7
339		bord eff.	0.0735	149.0	25.4	149.4	30.1
340	aimant	bord réel	1.2200	149.1	25.4	149.5	30.1
341	court foc.	centre eff.	1.2200	145.7	27.4	146.6	32.4
342	250/351	bord réel	0.0735	134.4	31.0	135.3	36.8
343		bord eff.	0.3375	133.5	31.3	134.4	37.1
344	-----	bride	0.4040	129.3	32.6	130.2	38.6
345	Section	centre	0.3910	124.4	34.1	125.1	40.4
	droite A ₀						
	252/353						
346	-----	bride	0.3505	119.6	35.6	120.0	42.2
347		bord eff.	0.0735	115.2	37.0	115.9	43.8
348	aimant	bord réel	1.2200	114.3	37.2	115.0	44.1
349	court défoc.	centre eff.	1.2200	103.0	40.8	103.5	48.3
350	254/355	bord réel	0.0735	98.7	42.0	98.7	49.8
351		bord eff.	0.3375	98.7	42.0	98.6	49.8
352	-----	bride	0.4040	98.4	42.0	98.2	49.8
353	Section	repère	0.185	98.1	42.0	97.7	49.8
354	droite A ₃	centre	0.185	98.0	42.0	97.5	49.8
355	256/357	repère	0.3910	97.9	42.0	97.4	49.8
356	-----	bride	0.3505	97.7	42.0	97.0	49.8
357		bord eff.	0.0735	97.5	42.0	96.7	49.8
358	aimant	bord réel	1.2200	97.5	42.0	96.6	49.8
359	court défoc.	centre eff.	1.2200	100.2	40.9	98.6	48.4
360	258/359	bord réel	0.0735	109.8	37.3	107.6	44.2
361		bord eff.	0.3375	110.6	37.1	108.3	43.9
362	-----	bride	0.4040	114.2	35.8	111.7	42.4
363	Section	centre	0.3910	118.6	34.2	115.8	40.6
	droite A ₀						
	260/361						
364	-----	bride	0.3505	122.9	32.8	119.9	38.8
365		bord eff.	0.0735	126.7	31.4	123.3	37.3

No	Composant	Position	Distance à la position suivante	Injection et accumulation		Faisceau final	
				Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.	Encom- brement horiz.	Encom- brement vertic.
366	aimant	bord réel	1.2200	127.5	31.2	124.0	36.9
367	court foc.	centre eff.	1.2200	137.2	27.5	132.9	32.6
368	262/363	bord réel	0.0735	139.6	25.6	134.2	30.4
369		bord eff.	0.3375	139.5	25.6	134.1	30.3
370	----- Section	bride	0.4040	139.1	25.3	133.4	30.0
371	d'inter-	repère	7.577	138.7	25.0	132.6	29.6
372	action A ₂ 300/401	centre	7.577	132.1	21.8	121.6	25.8



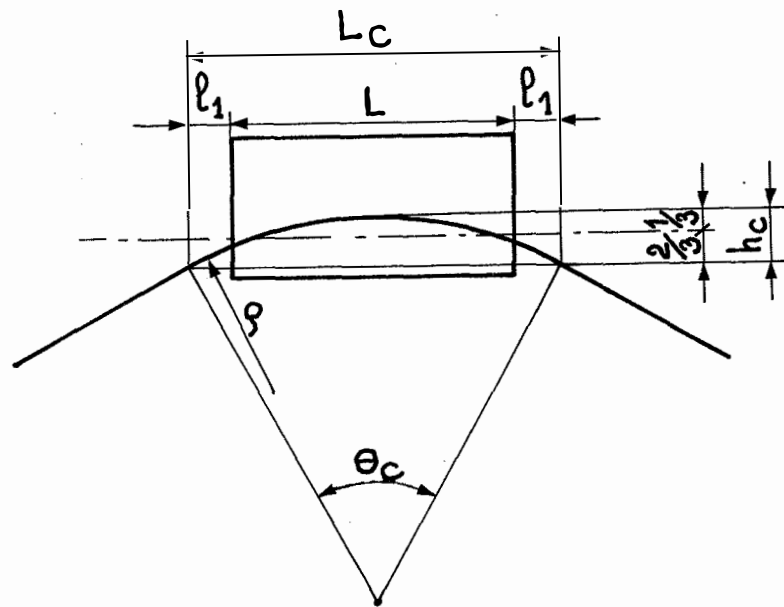
- F Radially focusing unit
- D Radially defocusing unit
- H Horizontal field magnet
- T Terwilliger quadrupole
- Q Skew quadrupole
- S Sextupole
- V Vacuum sector valve
- P Beam position pick-up station
- Pp Phase pick-up station
- PI Special pick-up station for injection
- PIDC DC intensity pick-up
- PIWB Wide band intensity pick-up
- PIUWB Ultra wide band intensity pick-up
- RF RF cavity
- (RF) Space reserved for future RF cavity
- SMI Steel septum magnet for injection
- FKI Fast kicker for injection
- QE Special quadrupole for slow integral ejection
- SE Sextupole for slow ejection
- STE Thin septum magnet for ejection
- SME Thick septum magnet for ejection
- FKID Fast kicker internal beam dumping
- FKED Fast kicker external beam dumping
- SMED Septum magnet external beam dumping
- ID Internal beam dump
- ED External beam dump
- FKE Fast kicker for ejection
- * Special design
- F* Must be with reversed yoke for ejection and external beam dumps.
- ST Scraping target
- PR Radial position pick-up

FIG. 1

GENERAL LAYOUT OF MAGNETS AND STRAIGHT SECTIONS IN THE ISR

SCALE 50m

No.	Date	Description	By	Checked	Approved	Observations	
						Remarks	Standards
1	27.11.77	General layout of magnets and straight sections in the ISR				Approved by: Abbondandolo VSM 1289	Symbolic drawing: VSM 1289
2	1.12.77	Assembly				Symbolic drawing: VSM 1289	Symbolic drawing: VSM 1289
General layout of magnets and straight sections in the ISR ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH CERN 1211 GENEVE 23 DIVISION ISR						208-370-0f	



rayon de courbure

$$\rho = 78,50 \text{ m}$$

longueur de l'aimant

$$L = 2440 \text{ mm}$$

longueur effective du champ de fuite

$$l_1 = 73,5 \text{ mm}$$

longueur effective de l'aimant

$$L_c = 2587 \text{ mm}$$

angle de déflexion

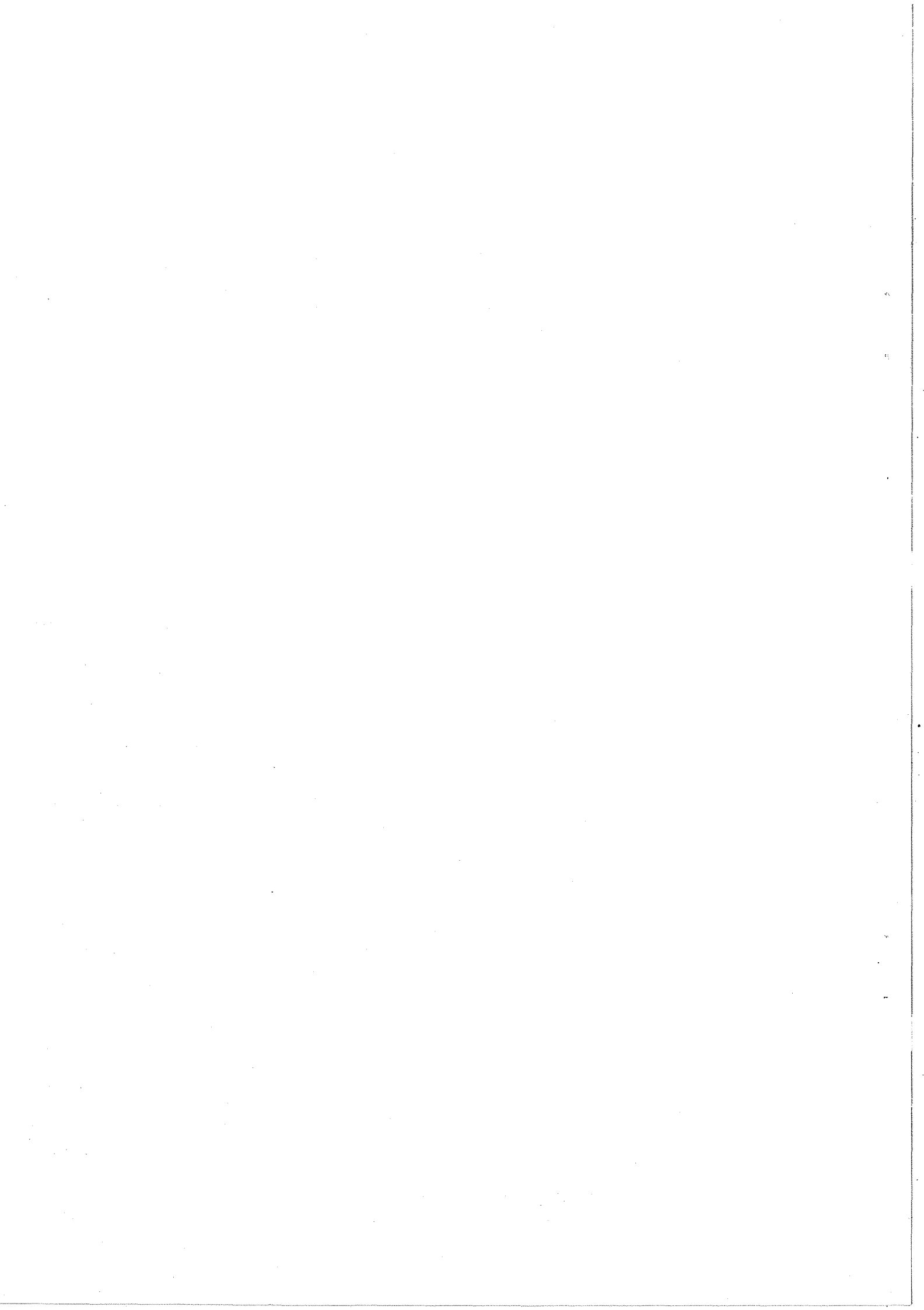
$$\theta_c = 0,032956 \text{ rad}$$

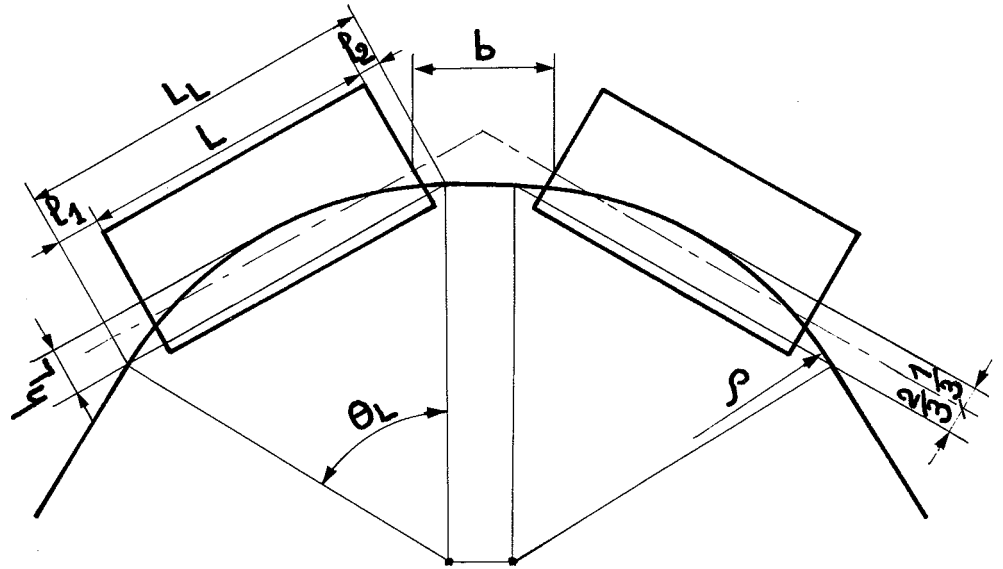
flèche

$$h_c = 10,7 \text{ mm}$$

Position de l'orbite d'équilibre
dans un aimant court

Fig 2





rayon de courbure	$\rho = 78,50 \text{ m}$
longueur d'une demi-unité d'aimant	$L = 2440 \text{ mm}$
longueur effective des champs de fuite aux bouts de l'aimant	$l_1 = 73,5 \text{ mm}$
au centre de l'aimant	$l_2 = 44,5 \text{ mm}$
longueur effective d'une demi-unité d'aimant	$L_L = 2558 \text{ mm}$
angle de déflexion pour une demi-unité	$\theta_L = 0,032586 \text{ rad}$
flèche	$h_L = 10,4 \text{ mm}$
distance entre les faces des demi-unités au niveau des axes des aimants	$b = 150 \text{ mm}$

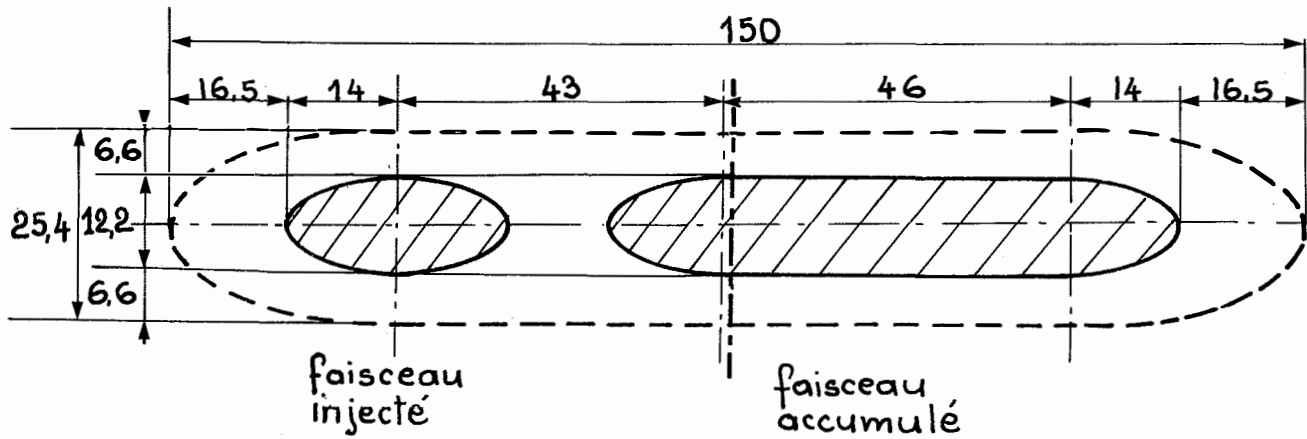
Position de l'orbite d'équilibre
dans un aimant long

Fig 3



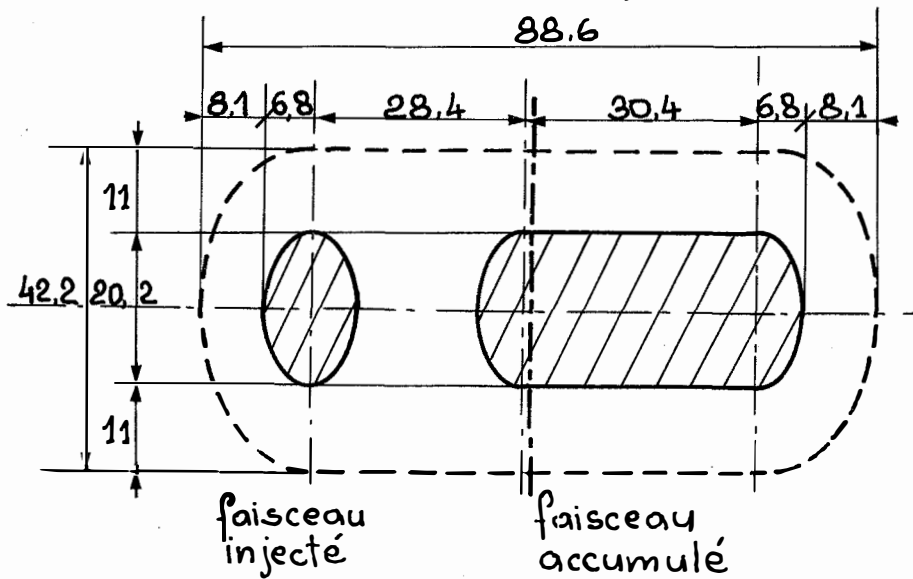
a)

- $S = S_1$
- $\beta_x = 41,253 \text{ m}$
- $\beta_z = 18,300 \text{ m}$
- $\alpha_p = 2,2603 \text{ m}$



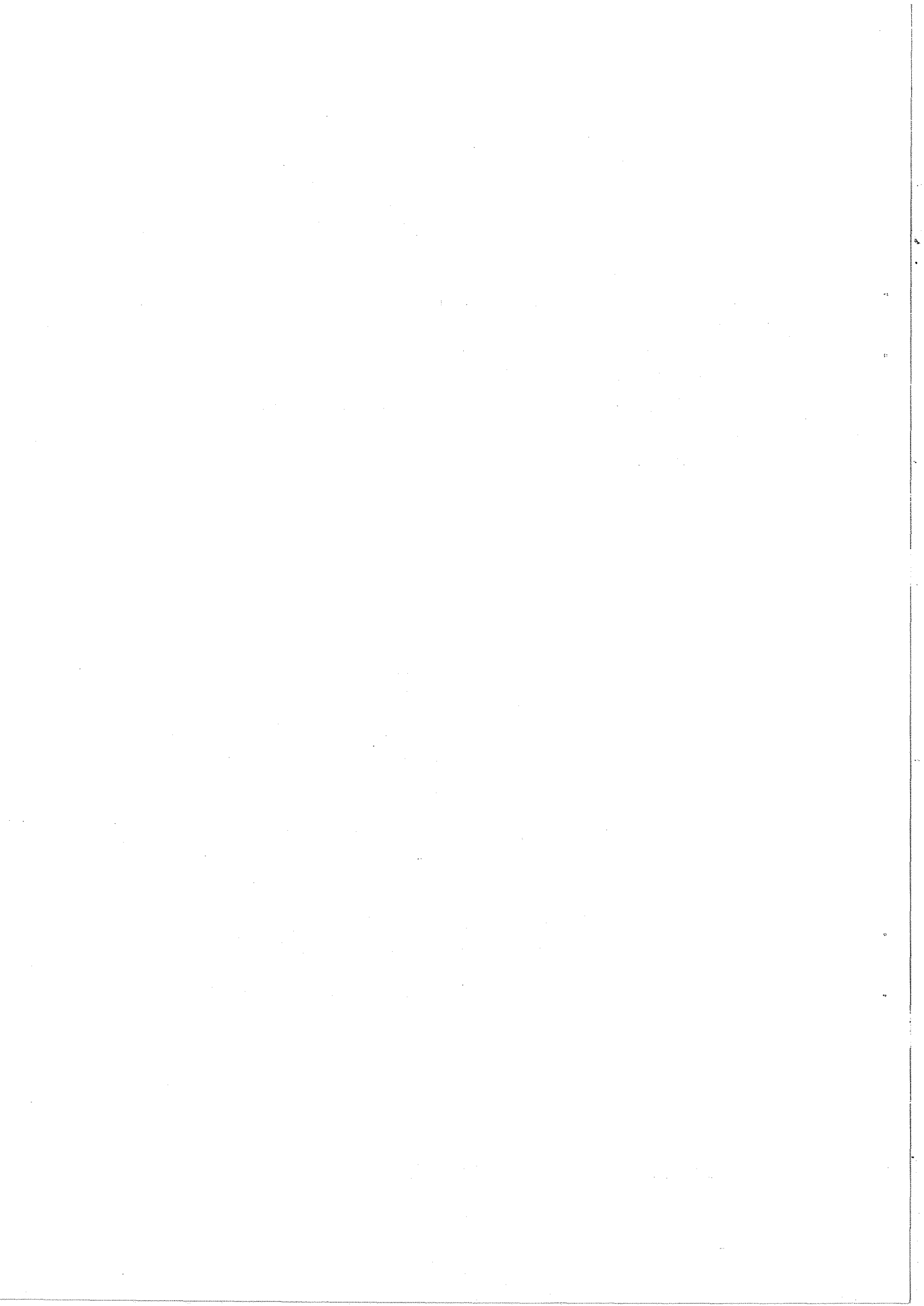
b)

- $S = S_2$
- $\beta_x = 9,830 \text{ m}$
- $\beta_z = 50,396 \text{ m}$
- $\alpha_p = 1,4937 \text{ m}$



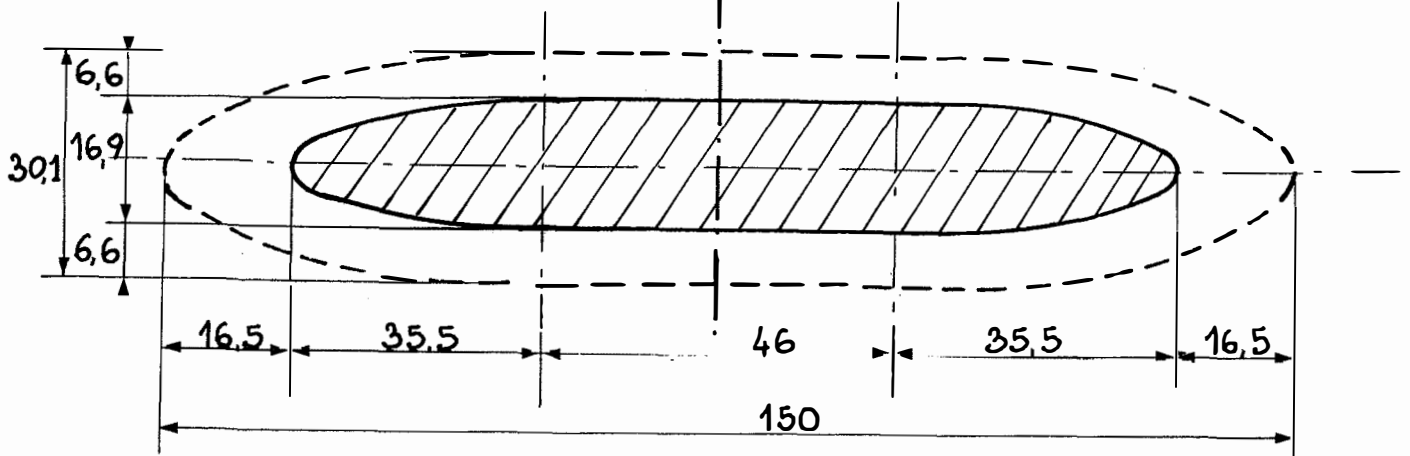
sections des faisceaux pendant l'injection
et l'accumulation

Fig 4



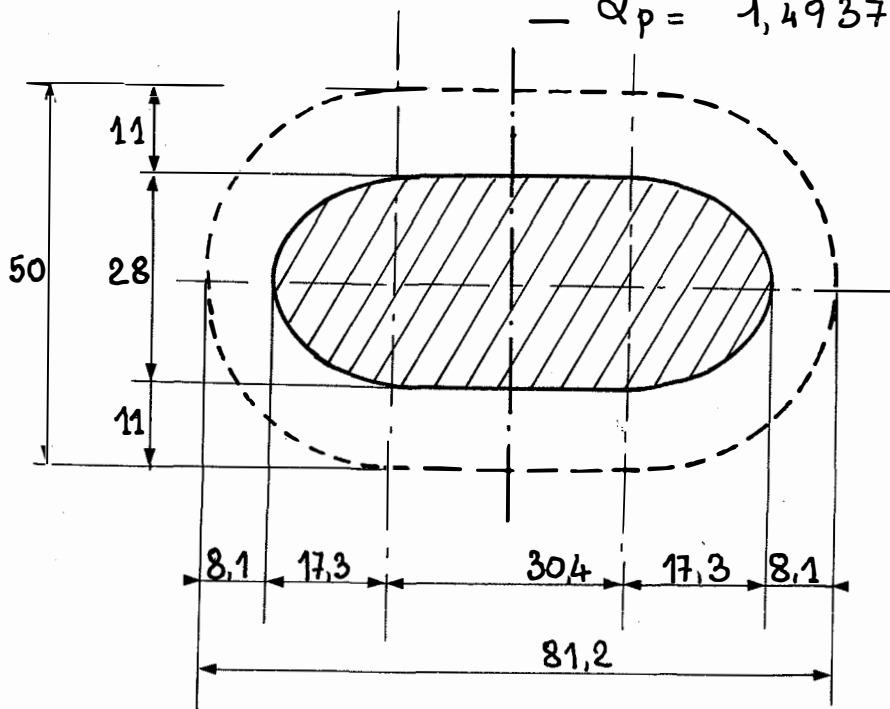
a)

- $S = S_1$
- $\beta_x = 41,253 \text{ m}$
- $\beta_z = 18,300 \text{ m}$
- $\alpha_p = 2,2603 \text{ m}$

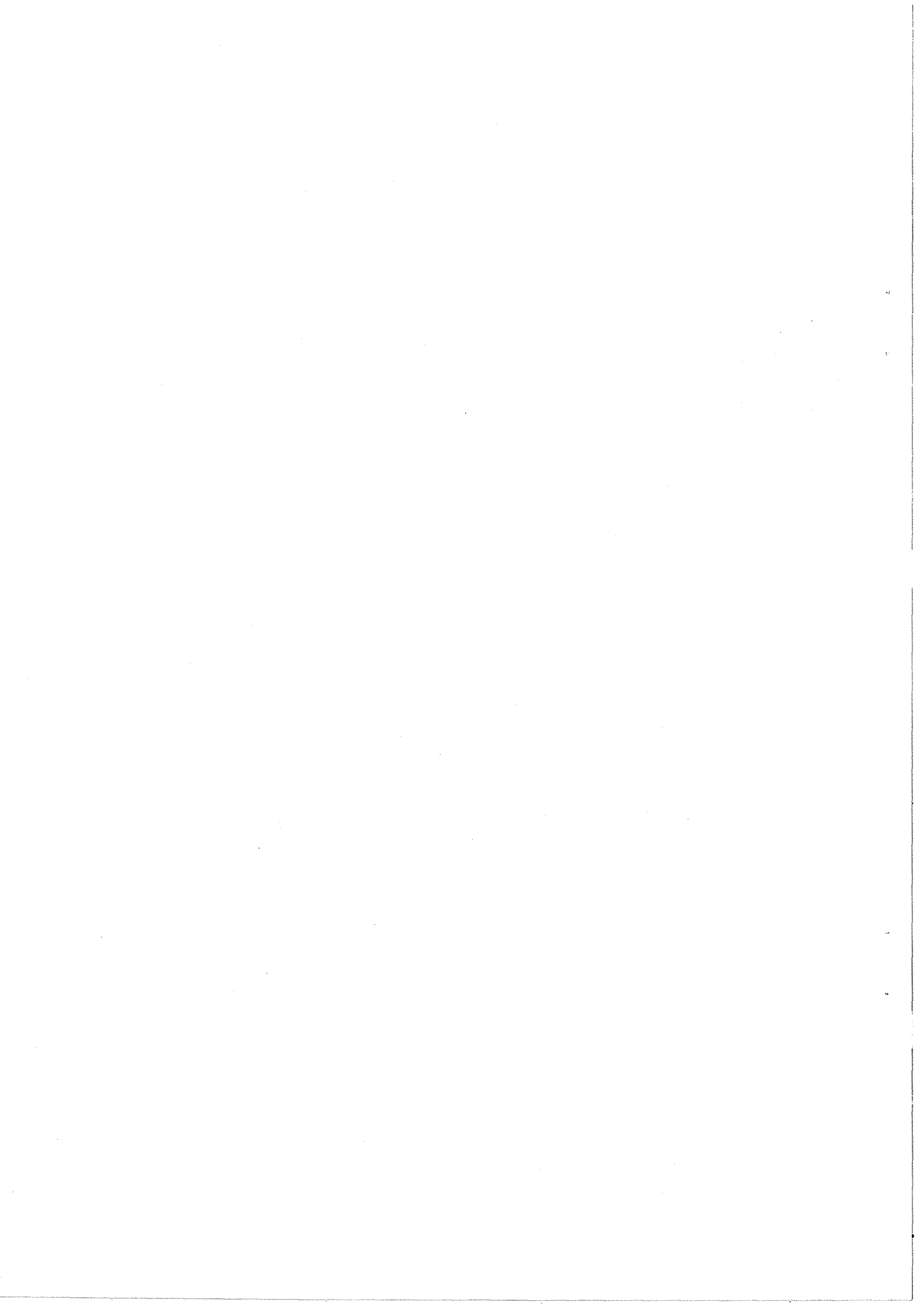


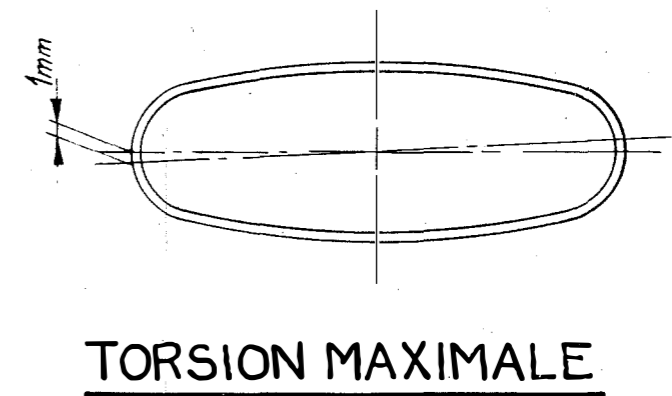
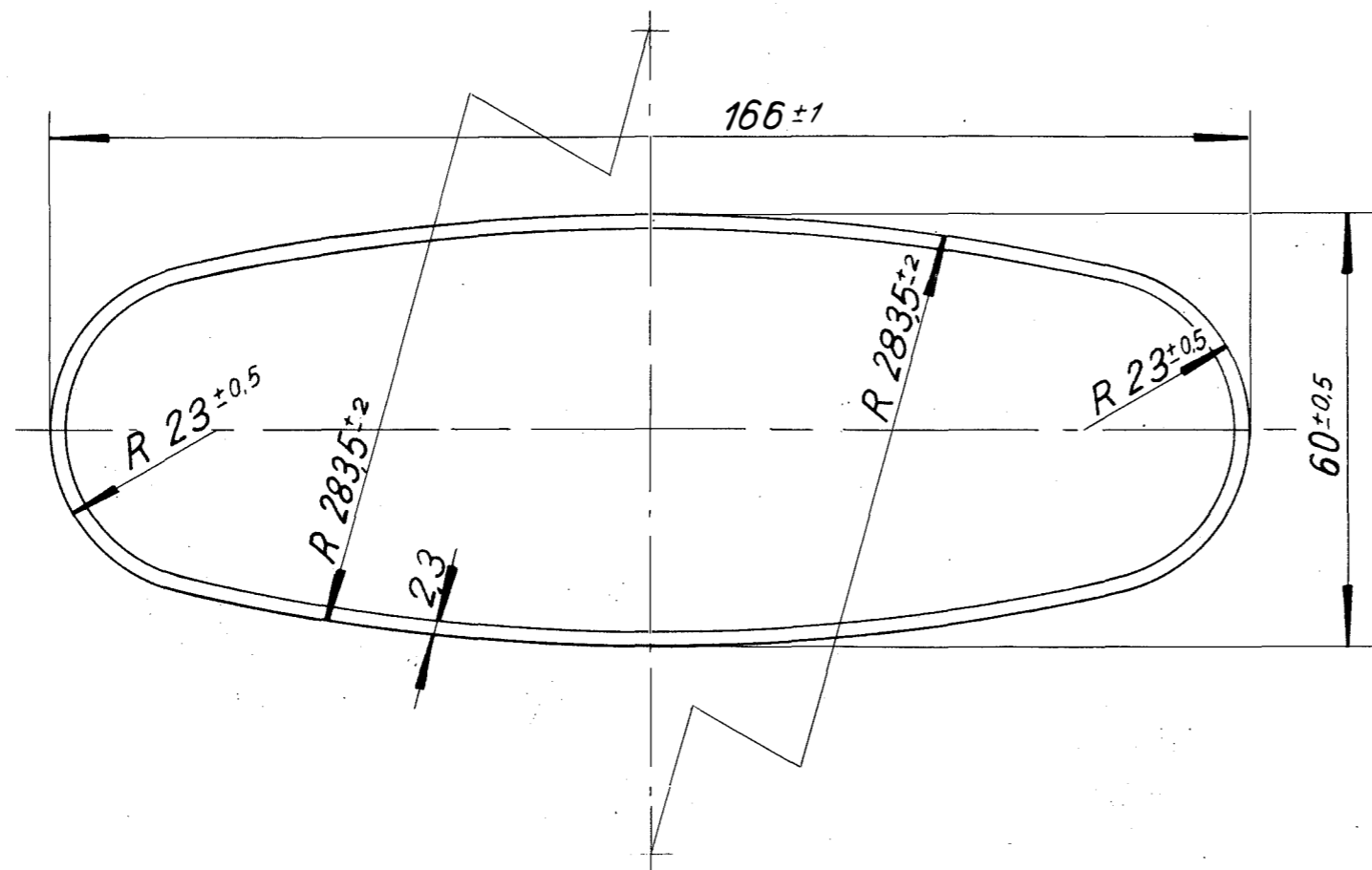
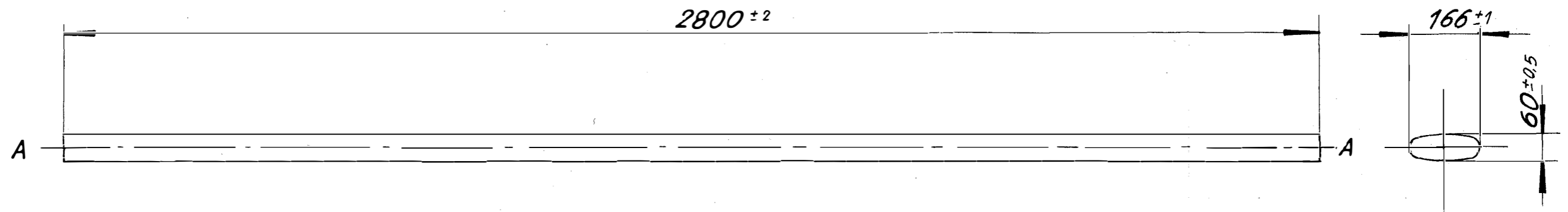
b)

- $S = S_2$
- $\beta_x = 9,830 \text{ m}$
- $\beta_z = 50,396 \text{ m}$
- $\alpha_p = 1,4937 \text{ m}$



sections du faisceau final Fig 5

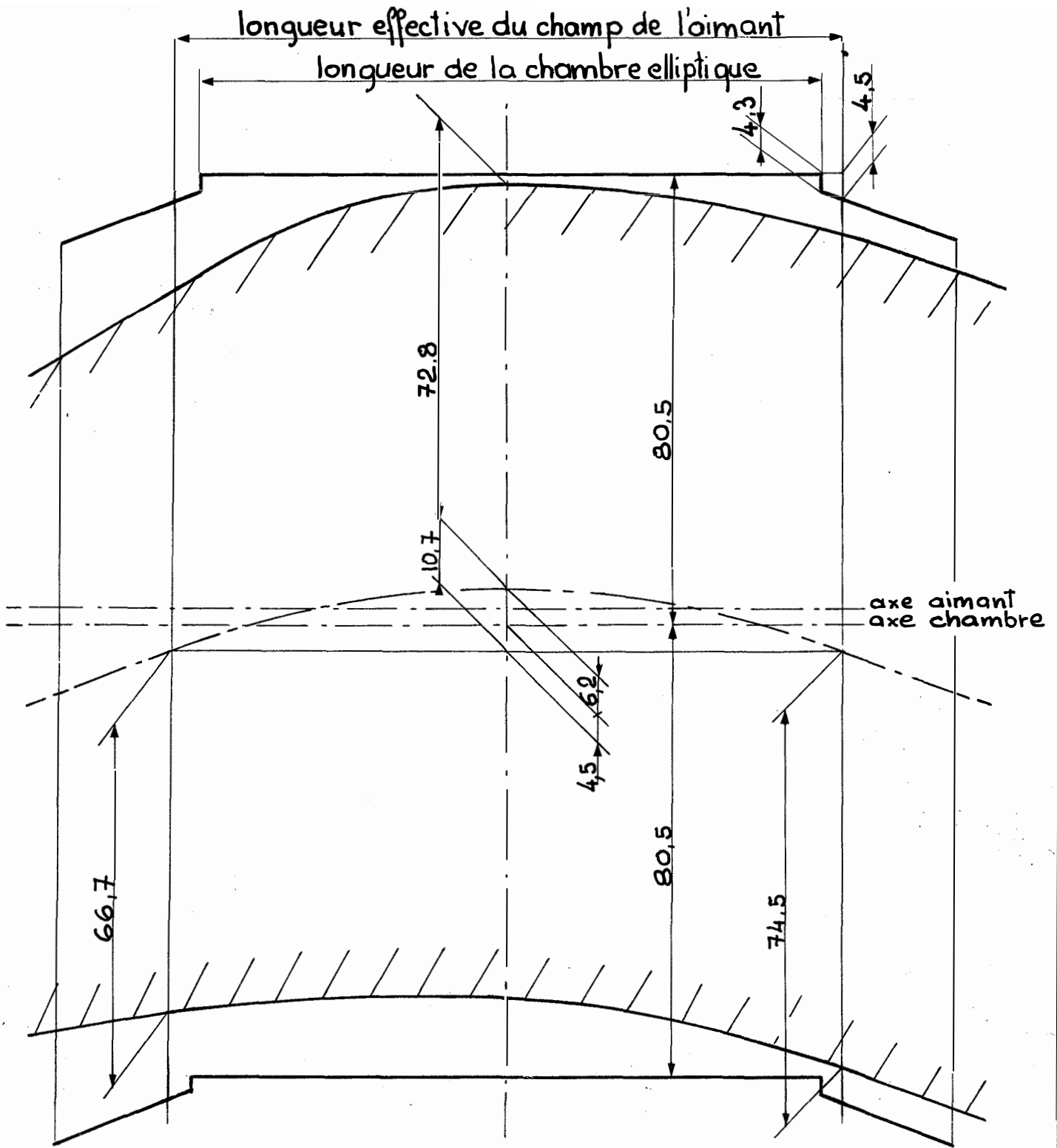




LINEARITE

Pas plus d' 1mm de distance entre la surface du tube et une règle droite adjacente et parallèle a l'axe A.A pour toutes les positions de la règle autour du profil.

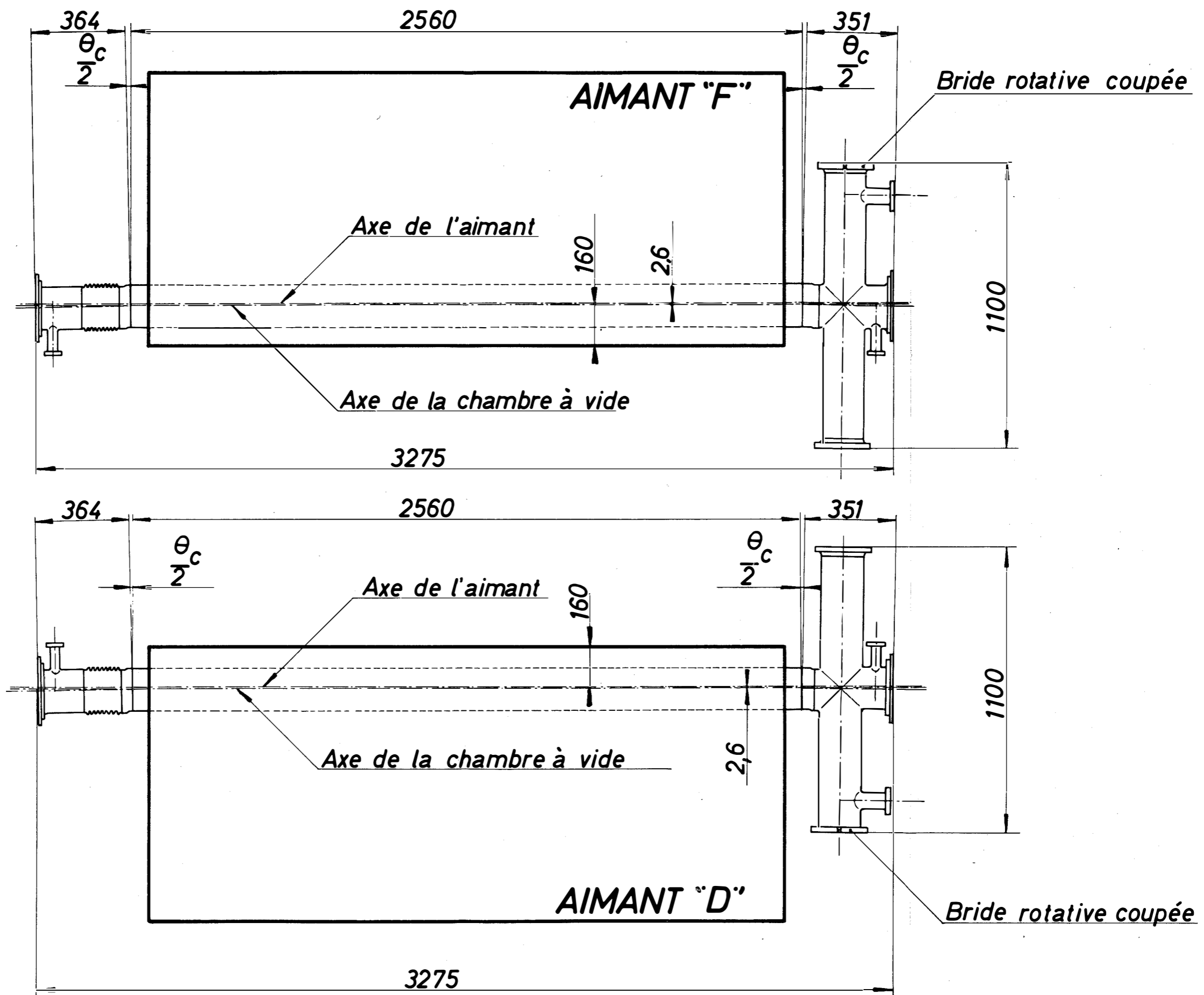
Fig 6



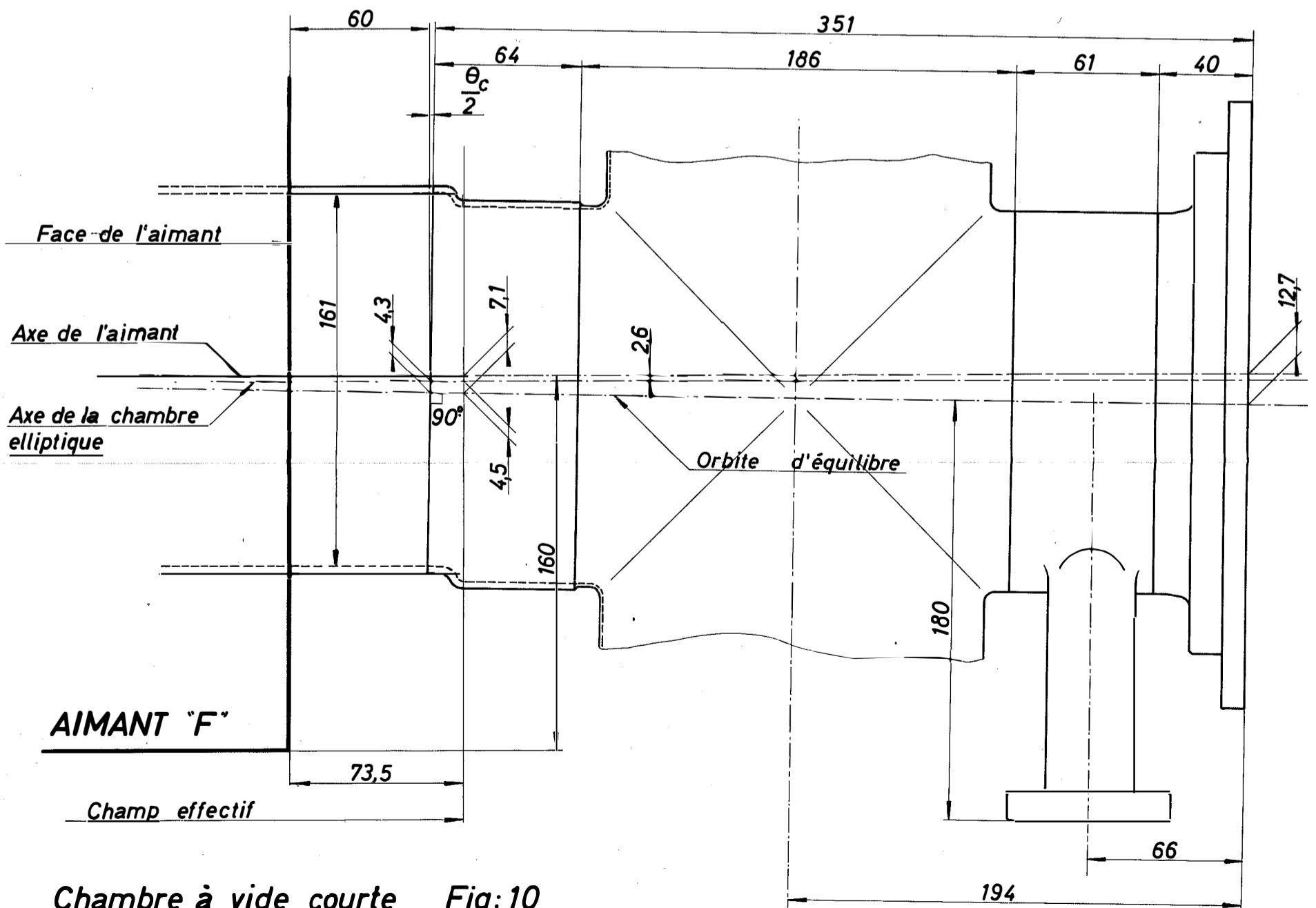
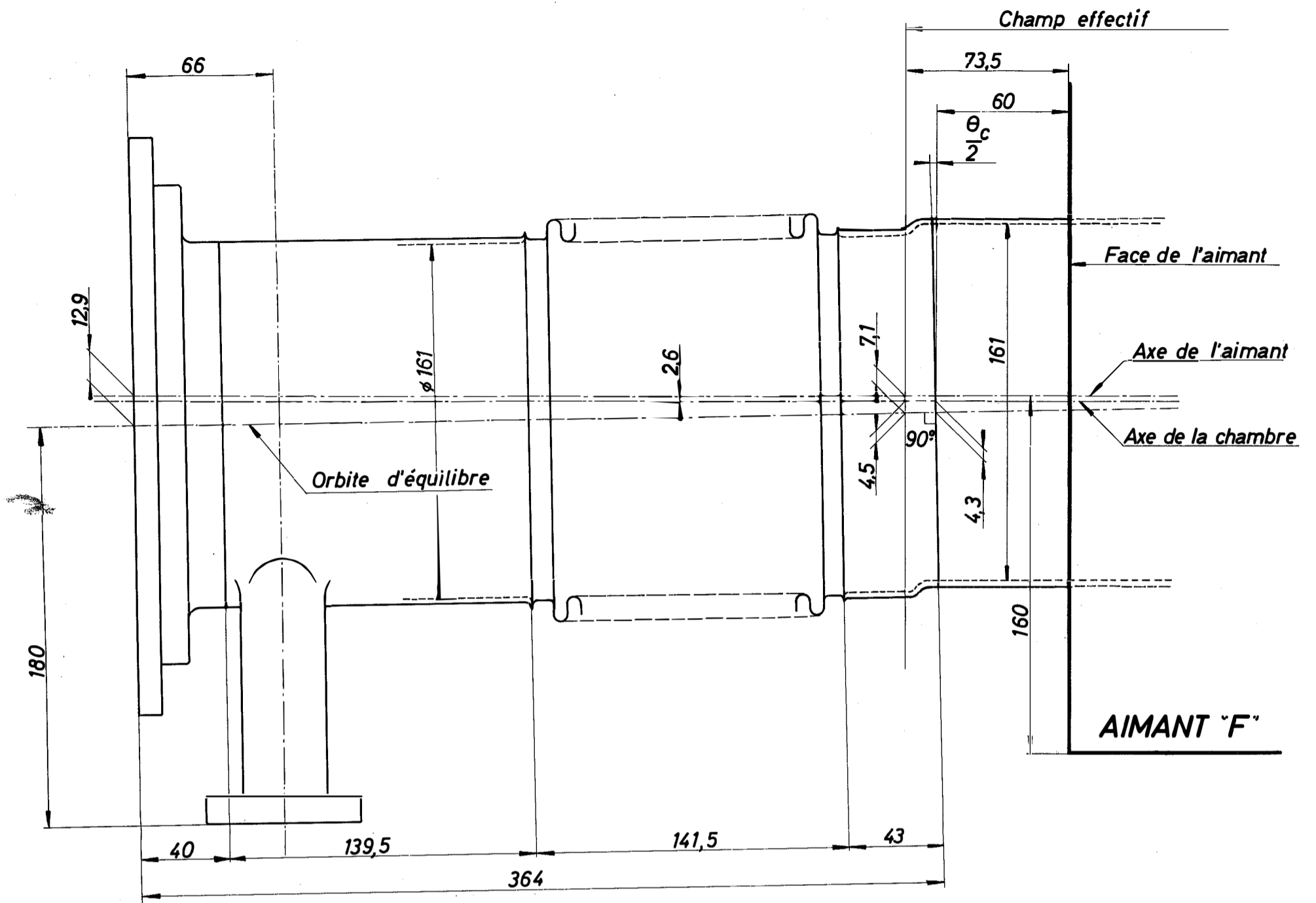
chambre et faisceau dans l'aimant court focalisant 214

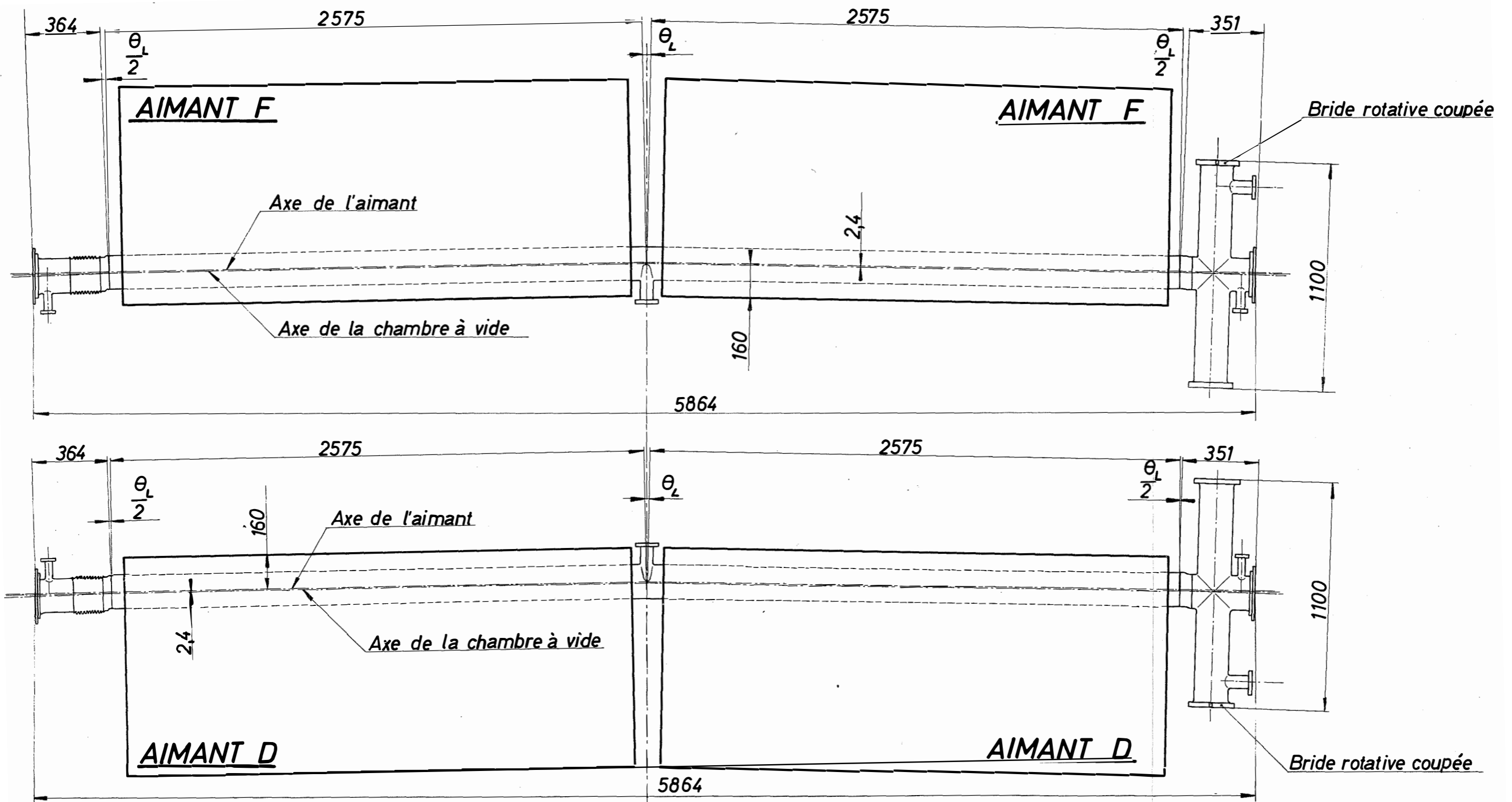
Fig 8



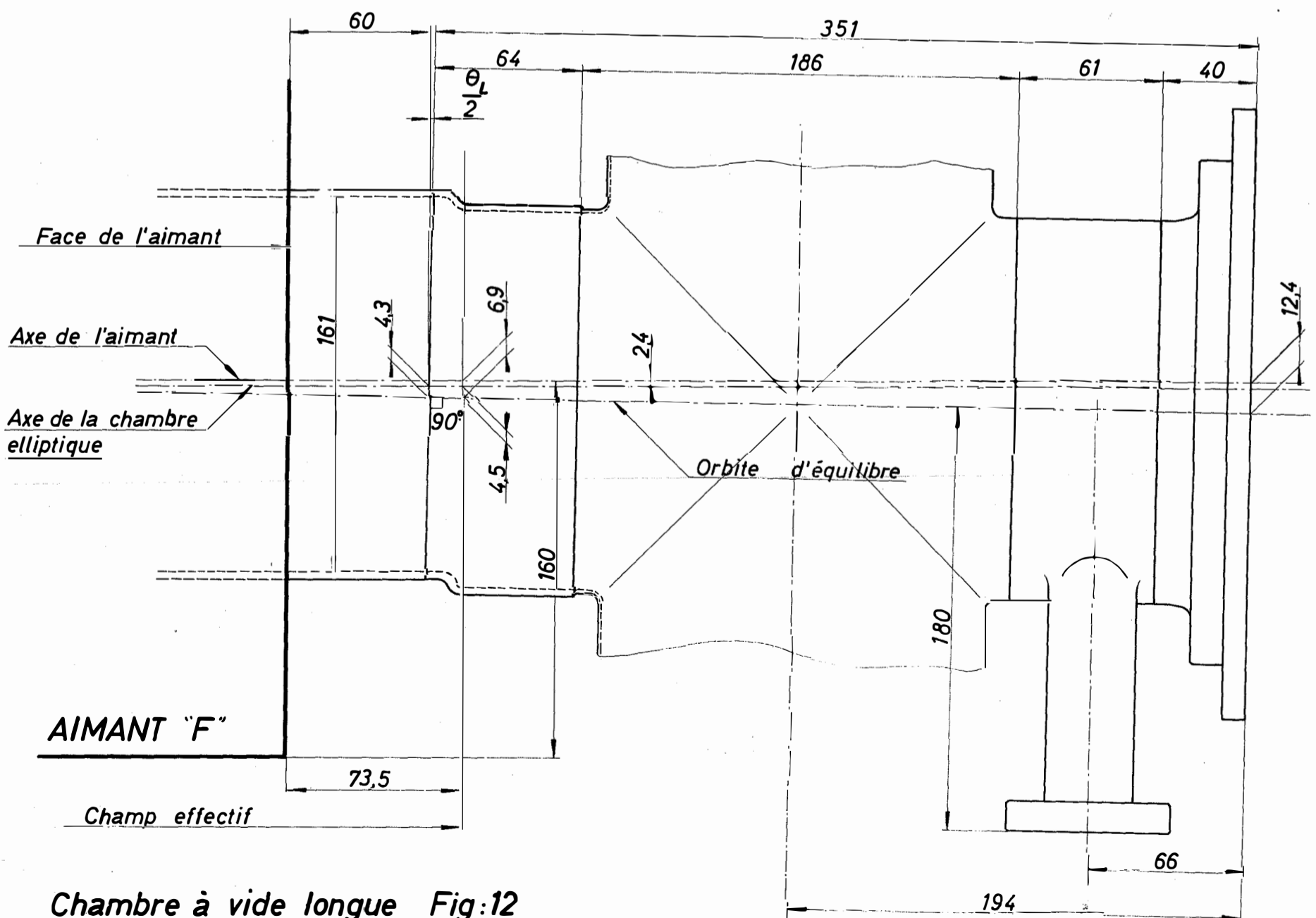
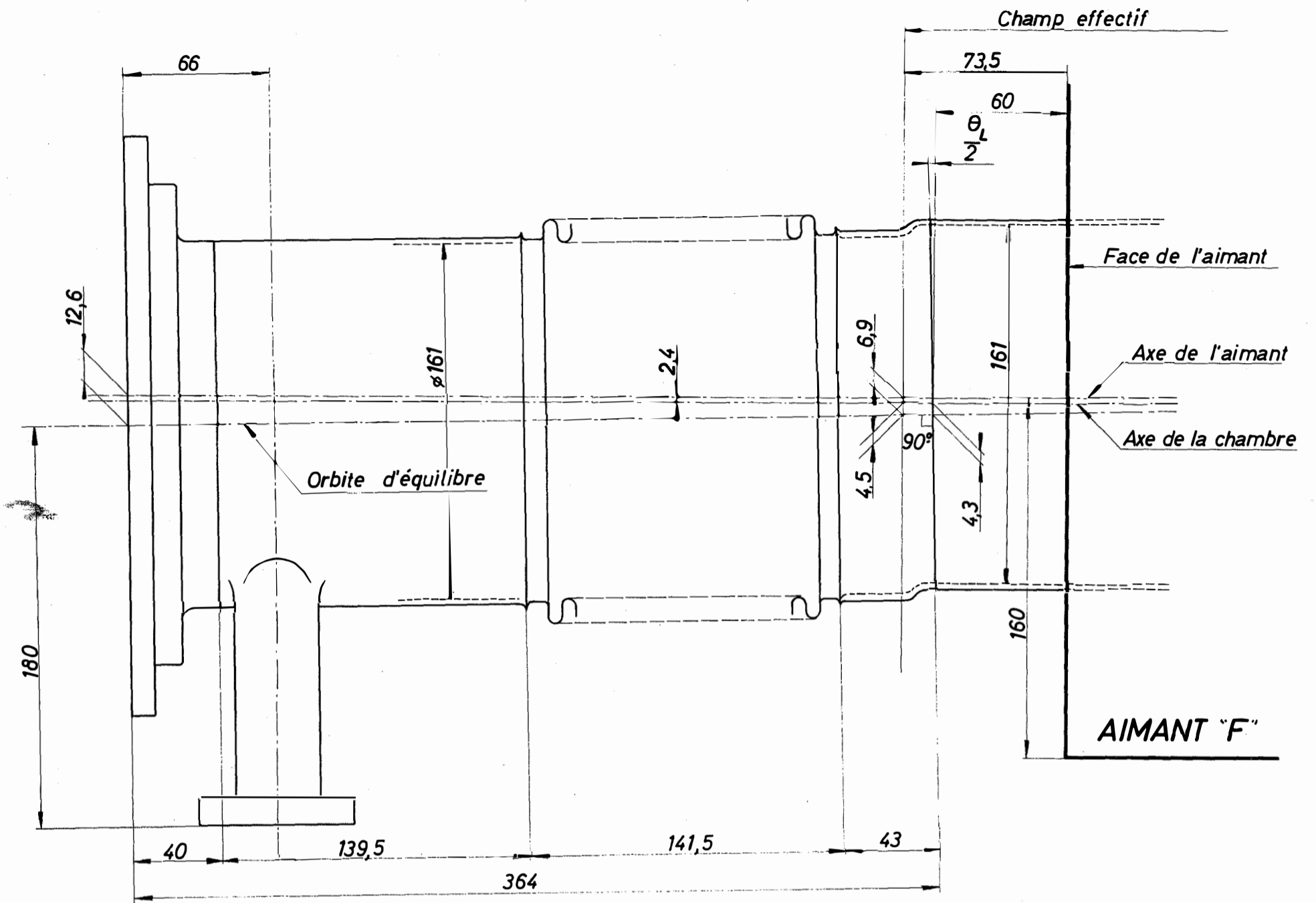


Chambres à vide courtes Fig:9





Chambres à vide longues Fig:11



Chambre à vide longue Fig:12

ISR PARAMETER LIST (REVISION 3)

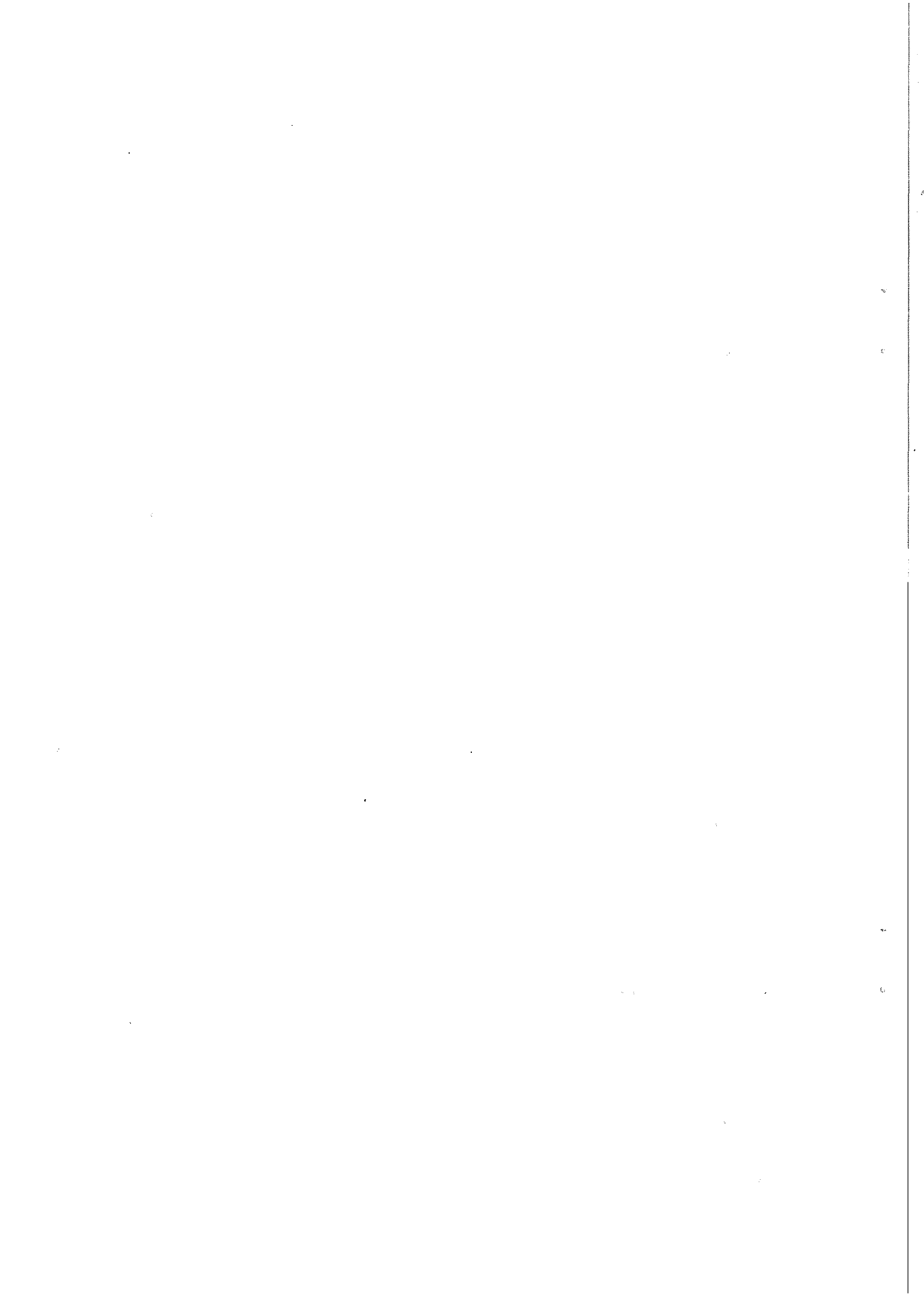
COMPILED BY E. KEIL

(PARAMETERS CHANGED WITH RESPECT TO PREVIOUS LIST ARE MARKED BY A *)

1. GEOMETRICAL PARAMETERS

(REFERRING TO CENTRE OF VACUUM CHAMBER)

* CIRCUMFERENCE	C	942,6368 M
* AVERAGE RADIUS	R	150,0253 M
* MAXIMUM RADIUS	RMAX	154,3051 M
* MINIMUM RADIUS	RMIN	145,5017 M
* MAXIMUM DISTANCE BETWEEN INNER AND OUTER ARC	RMAX-RMIN	8,8034 M
* INTERSECTION RADIUS	RINT	148,6073 M
* INTERSECTION ANGLE (DEGREES)	PSI	14,7883
STRAIGHT SECTION BETWEEN MAGNET CORES	A0	1,6300 M
STRAIGHT SECTION BETWEEN MAGNET CORES	A2	16,7830 M
STRAIGHT SECTION BETWEEN MAGNET CORES	A3	2,0000 M
* STRAIGHT SECTION BETWEEN MAGNET CORES	A4	13,0016 M
STRAIGHT SECTION BETWEEN MAGNET CORES	A5	2,0000 M
* STRAIGHT SECTION BETWEEN MAGNET CORES	A6	9,6000 M
DISTANCE FROM INTERSECTION POINT TO NEXT MAGNET CORE		
* IN OUTER ARC	B1	6,9601 M
* IN INNER ARC	B2	9,8229 M
BEAM LEVEL IN THE CPS		433,66 M
BEAM LEVEL IN THE ISR RING TUNNEL		445,46 M
BEAM LEVEL IN THE WEST HALL		448,06 M



2. ORBIT PARAMETERS

MAXIMUM TOTAL ENERGY	EMAX	28 GEV
NUMBER OF MAGNET PERIODS	N	48
NUMBER OF SUPERPERIODS	S	4
NUMBER OF INTERSECTIONS	NINT	8
* HORIZONTAL Q VALUE	Q(H)	8,78
* VERTICAL Q VALUE	Q(V)	8,70
* MAXIMUM HORIZONTAL BETA VALUE	BETAMAX(H)	41,0441 M
* MAXIMUM VERTICAL BETA VALUE	BETAMAX(V)	51,2040 M
AVERAGE HORIZONTAL BETA VALUE	BETABAR(H)	17,6 M
AVERAGE VERTICAL BETA VALUE	BETABAR(V)	25,2 M
* VERTICAL BETA VALUE AT CROSSING POINTS	BETAINT(V)	13,783 M
* MAXIMUM MOMENTUM COMPACTION FUNCTION	ALPHAPMAX	2,2787 M
* MINIMUM MOMENTUM COMPACTION FUNCTION	ALPHAPMIN	1,4883 M
* TOTAL TRANSITION ENERGY OVER REST ENERGY	GAMMA(T)	8,9552
* DISTANCE FROM INJECTION ORBIT TO BOTTOM		
* OF STACK AT THE INJECTION KICKER MAGNET		43 MM
* HORIZONTAL BEAM SIZE AT BETAMAX(H)		28 MM
HORIZONTAL CLOSED ORBIT DISTORTIONS AT BETAMAX(H)		33 MM
* STACK WIDTH AT ALPHAPMAX		46 MM
TOTAL REQUIRED HORIZONTAL APERTURE		150 MM
VERTICAL BEAM SIZE INCLUDING SCATTERING AT BETAMAX(V)		28 MM
VERTICAL CLOSED ORBIT DISTORTIONS AT BETAMAX(V)		22 MM
TOTAL REQUIRED VERTICAL APERTURE		50 MM
* BEAM HEIGHT AT CROSSING POINTS		10,5 MM



3. EQUIPMENT IN ONE RING

NUMBER OF SHORT F UNITS COMPOSED OF ONE BLOCK	40
NUMBER OF SHORT D UNITS COMPOSED OF ONE BLOCK	32
NUMBER OF LONG F UNITS COMPOSED OF TWO BLOCKS	28
NUMBER OF LONG D UNITS COMPOSED OF TWO BLOCKS	32
* NUMBER OF CORRECTING RADIAL FIELD MAGNETS	18
NUMBER OF CORRECTING SEXTUPOLES	16
NUMBER OF SKEW QUADRUPOLES	28
NUMBER OF 1/2 D TERWILLIGER QUADRUPOLES	16
NUMBER OF F TERWILLIGER QUADRUPOLES	8
NUMBER OF COMBINED RADIAL AND VERTICAL BEAM OBSERVATION STATIONS	52
NUMBER OF SURVEYING MONUMENT PAIRS	32
* NUMBER OF CLEARING FIELDS IN THE COIL OVERHANGS OF MAGNETS	264
* NUMBER OF SECTOR VALVES	19

4. INJECTION SYSTEM FOR ONE RING

* AVERAGE RADIAL DISTANCE OF THE CPS EJECTION ORBIT		
* FROM THE CENTRE OF THE VACUUM CHAMBER *)		
* WITHOUT TERWILLIGER SCHEME IN ISR	DR(CPS,0)	-11,2 MM
* WITH TERWILLIGER SCHEME IN ISR	DR(CPS,T)	+0,8 MM
* AVERAGE RADIAL DISTANCE OF THE ISR INJECTION ORBIT		
* FROM THE CENTRE OF THE VACUUM CHAMBER		
* WITHOUT TERWILLIGER SCHEME	DR(ISR,0)	-36,9 MM
* WITH TERWILLIGER SCHEME	DR(ISR,T)	-19,8 MM

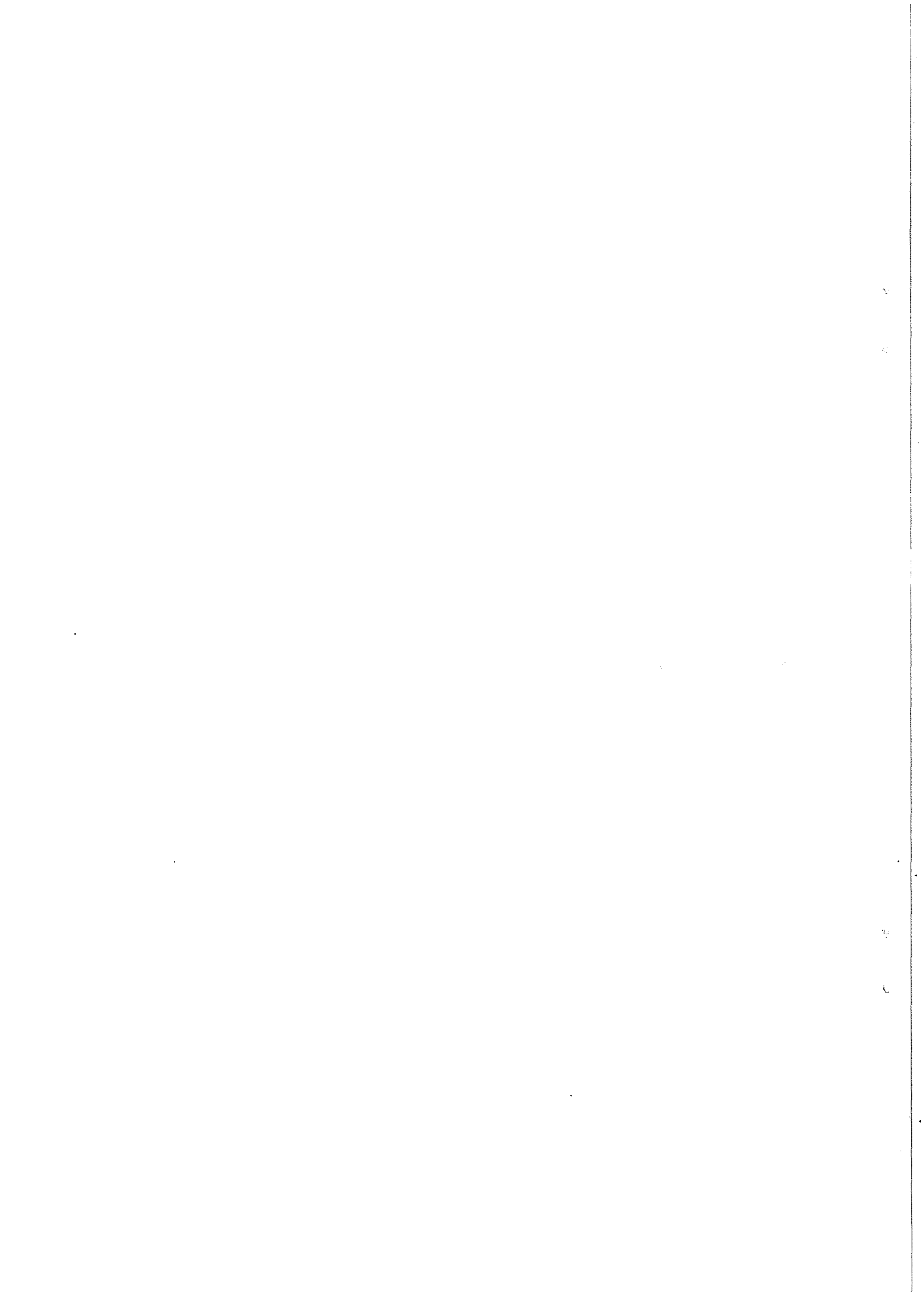
*) IT IS ASSUMED THAT CPS EJECTION IS DONE WITH A HALF WAVELENGTH BUMP AND A FIXED SEPTUM AT THE OUTSIDE EDGE OF THE APERTURE. THE DISTANCES GIVEN ABOVE ARE VALID AT THOSE AZIMUTHS WHERE THE BUMP HAS NO EFFECT.



* RADIAL POSITION OF THE INJECTION ORBIT AT THE KM	-44,5	MM
* DEFLECTION ANGLE IN THE INJECTION KICKER MAGNET	2,50	MRAD
* TOTAL KICKER MAGNET STRENGTH FOR 28 BEV PROTONS	0,234	TM
* TOTAL LENGTH OF FERRITE	2,40	M
* NUMBER OF SECTIONS	2	
* GAP WIDTH	44,5	MM
ELECTRICAL GAP HEIGHT	20	MM
PHYSICAL GAP HEIGHT (LIMITED BY SHIMS)	18,6	MM

5. MAGNET PARAMETERS FOR ONE RING

MAXIMUM FIELD AT EQUILIBRIUM ORBIT	ZERO	1.2	T
CORE LENGTH OF A LONG MAGNET UNIT	L(L)	5,030	M
CORE LENGTH OF A SHORT MAGNET UNIT	L(S)	2,440	M
SPACE BETWEEN THE TWO BLOCKS IN A LONG UNIT	A1	0,150	M
* BENDING RADIUS	RH0	78,4990	M
* BENDING ANGLE IN 1/2 LONG UNIT		0,032586386	RAD
* BENDING ANGLE IN SHORT UNIT		0,032955818	RAD
* PROFILE PARAMETER IN F MAGNETS	N/RHO(F)	-3,128	1/M
* PROFILE PARAMETER IN D MAGNETS	N/RHO(D)	+3,007	1/M
* RADIAL DERIVATIVE OF F PROFILE PARAMETER	N1/RHO(F)	-1,973	1/M*MM
* RADIAL DERIVATIVE OF D PROFILE PARAMETER	N1/RHO(D)	+1,473	1/M*MM
GAP HEIGHT AT EQUILIBRIUM ORBIT		100	MM
* POLE WIDTH		380	MM
* STEEL WEIGHT PER FINISHED BLOCK		22,7	TON
COPPER WEIGHT FOR SHORT UNIT		3,2	TON
COPPER WEIGHT FOR LONG UNIT		5,5	TON
NUMBER OF TURNS PER UNIT		32	
* CONDUCTOR CROSS-SECTION IN SHORT UNITS	52,6*32 MM*MM,		10,8 MM Ø HOLE
* CONDUCTOR CROSS-SECTION IN LONG UNITS	59,0*32 MM*MM,		14,7 MM Ø HOLE



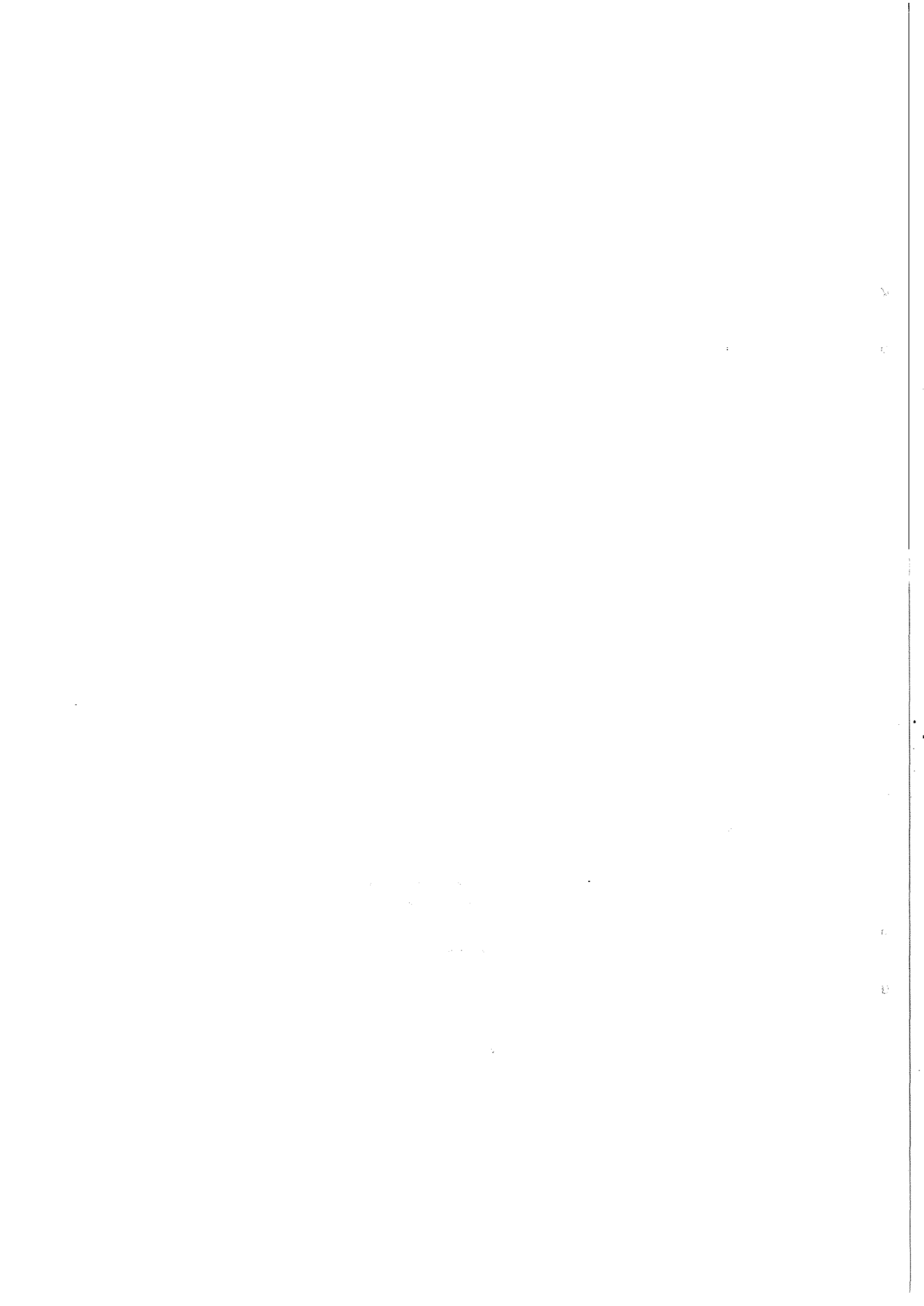
* TOTAL STEEL WEIGHT	5360	TON
TOTAL COPPER WEIGHT	560	TON
* TOTAL RESISTANCE	0.48	OHM
* MAXIMUM TOTAL INDUCTANCE	3.0	H
MAXIMUM CURRENT	3750	A
* MAXIMUM DISSIPATION	6.8	MW
ASSUMED EFFECTIVE LENGTH FOR EACH END EFFECT.		FIELD GRADIENT
* AT JUNCTION	0.0445	0.0285 M
* AT COIL END	0.0735	0.0345 M
ASSUMED RADIAL DERIVATIVE OF EFFECTIVE LENGTH FOR GRADIENT		
* AT JUNCTION	+ OR -	0.120
* AT COIL END	+ OR -	0.240

6. RF STACKING SYSTEM FOR ONE RING

HARMONIC NUMBER	30
* CENTRE FREQUENCY AT 29 GEV	9,5347 MHZ
FREQUENCY VARIATION FOR 4 0/0 MOMENTUM CHANGE AT 25 GEV	4.2 KHZ
MAXIMUM PEAK RF VOLTAGE PER TURN	20 KV
MINIMUM DEFINED RF VOLTAGE PER TURN	APPROX. 50 V
NUMBER OF RF CAVITIES	6
LENGTH OF RF STRUCTURE	9 M

7. VACUUM SYSTEM FOR ONE RING

DESIGN PRESSURE OUTSIDE INTERSECTION REGIONS	10(-9) TORR
DESIGN PRESSURE INSIDE INTERSECTION REGIONS	10(-10) TO 10(-11) TORR
VACUUM CHAMBER INSIDE DIMENSIONS	160*52 MM*MM
* VACUUM CHAMBER WALL THICKNESS	2.3 MM
VACUUM CHAMBER MATERIAL	LOW CARBON STAINLESS STEEL
* VACUUM CHAMBER PERMEABILITY LESS THAN	1.005
* BAKEOUT TEMPERATURE (DEGREES C)	150 TO 300



* NUMBER OF ROUGHING PUMPS	32
* NUMBER OF TITANIUM SPUTTER PUMPS OF 300 TO 400 L/S NOMINAL SPEED	124
* NUMBER OF TITANIUM SUBLIMATION PUMPS OF 1000 TO 2000 L/S NOM.SP.	34
NUMBER OF LIQUID HELIUM CRYOPUMPS OF ABOUT 10000 L/S NOM.SP.	4 TO 5
	PER INTERSECTION REGION
NUMBER OF BAYARD-ALPERT GAUGES	240

* B. ASSUMPTIONS, TOLERANCES, PERFORMANCE ESTIMATE

*
*

* ROOT MEAN SQUARE MAGNET IMPERFECTIONS	HORIZONTAL	VERTICAL	
* POSITION OF REFERENCE MARKS ON UNITS	0.1	0.1	MM
* ALIGNMENT OF REFERENCE MARKS IN TUNNEL	0.2	0.1	MM
* GROUND MOVEMENTS	0.2	0.1	MM
* RELATIVE MAGNETIC FIELD ERRORS	5×10^{-4}	-	
 * GRADIENT ERROR		0.1	0/0
 * PS BEAM PROPERTIES AT 25 GEV			
* LONGITUDINAL PHASE DENSITY (PROTONS/EV/C/RF-RADIAN)	8.5×10^{13}		
* HORIZONTAL BEAM RADIUS AT BETA = 16 M	3.8...6.5		MM
* VERTICAL BEAM RADIUS AT BETA = 16 M		4.1	MM
 * BEAM TRANSFER ERRORS			
* HORIZONTAL	7.7...3.4		MM
* VERTICAL		2.6	MM
 * STACKING EFFICIENCY			50 0/0
* MAXIMUM NUMBER OF STACKED PARTICLES	4×10^{14}		
* MAXIMUM CURRENT		20	A
* MAXIMUM MOMENTUM SPREAD			2 0/0
* MAXIMUM LUMINOSITY (1/CM/CM/SEC)	4×10^{30}		

DISTRIBUTION (CLOSED) ISR SCIENTIFIC STAFF

