

MPS/Int. MU/H 68- 1
LM/ld - 5. 8.1968

CIBLE A HYDROGENE LIQUIDE
REFROIDIE A L'HELIUM
UTILISEE SUR LE FAISCEAU s₄ DU PS

L. Mazzone

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
INTRODUCTION	3
FONCTIONNEMENT DE LA CIBLE	3
ISOLATION THERMIQUE	8
REGULATION DE LA TEMPERATURE DE L'APPENDICE	8
TRANSFERT DES LIQUIDES CRYOGENIQUES	9
ESSAIS	10
CONCLUSIONS	12
REMERCIEMENTS	12
 <u>ANNEXES</u>	
I. CALCUL DES PERTES DE CHALEUR DU RESERVOIR D'HELIUM LIQUIDE (R_{He})	A.I.1
II. CALCUL DES PERTES DE CHALEUR DE L'APPENDICE	A.II.1
III. TRANSFERT D'HELIUM LIQUIDE	A.III.1
 <u>FIGURES</u>	
<u>Fig. 1</u> Plan de la baraque et coupe verticale de l'anneau par rapport à la cible	5
<u>Fig. 2</u> Coupe schématique de la cible	6
<u>Fig. 3</u> Schéma de l'installation de la cible H ₂ (Faisceau s ₄)	11
<u>Fig. 4</u> Vue de l'installation dans l'anneau	13
<u>Fig. 5</u> Coupe schematique de la suspension	A.I.1
<u>Fig. 6</u> Pertes de chaleur au travers de feuilles mylar aluminées	A.I.7
<u>Fig. 7</u> Perte de charge de l'hélium liquide dans des lignes de transfert	A.III.3

INTRODUCTION

L'installation d'une cible à hydrogène liquide à l'intérieur de l'Anneau du PS, bien qu'envisagée depuis longtemps, n'avait jamais été étudiée sérieusement à cause des problèmes liés à la sécurité. En effet, les règles appliquées à l'emploi de l'hydrogène liquide : enceinte ventilée, tuyauteries d'évacuation, accessibilité facile, surveillance permanente, etc., auraient posés des problèmes techniques difficiles et très coûteux.

Pour les besoins d'une expérience de diffusion de protons (Allaby et al.) ce problème a été reposé et a pu être résolu grâce à la disponibilité d'hélium liquide qui permet d'éliminer toutes les questions de sécurité.

La cible réalisée grâce à cette méthode ne comporte qu'un volume limité d'hydrogène liquide. De plus, pour éliminer tous les arrêts du PS qui auraient pu être nécessaires à l'exploitation de la cible, tous les contrôles et commandes ont été conçus pour l'opération à distance et l'équipement auxiliaire a été logé à l'extérieur de l'Anneau. (Voir Fig. 1).

FONCTIONNEMENT DE LA CIBLE

Une coupe schématique de la cible est donnée à la Fig. 2. Le système contenant l'hydrogène consiste en un réservoir chaud (300°K) relié à l'appendice froid (20°K) par un système de tuyaux.

Cet ensemble est rempli à chaud à une pression déterminée; ensuite on remplit le réservoir R_{N_2} d'azote liquide et le réservoir R_{He} d'hélium liquide. En faisant circuler l'hélium gazeux s'échappant de R_{He} dans l'échangeur de l'appendice on liquéfie l'hydrogène; sa température sera stabilisée en réglant le débit d'hélium.

Le débit calorifique nécessaire pour maintenir l'appendice froid et à une température donnée (20°K) est fournie par la chaleur spécifique de l'hélium gazeux entre 4°K et 20°K; ceci à un avantage sur un système utilisant seulement la chaleur d'évaporation de ce même gaz.

En effet, pour l'hélium :

$$\Delta H = H_{20} - H_4 = 88.4 \text{ Joule/gr.}$$

$$r_4 = 20.6 \text{ "}$$

où ΔH = enthalpie du gaz entre 20 et 4°K

r_4 = chaleur de vaporisation à 4°K .

Ce système est simple, sûr et présente différents avantages.

En effet :

- En aucun cas on ne pourrait avoir dans le système une pression supérieure à celle de remplissage. Cette pression est évidemment suffisamment basse par rapport à la résistance mécanique de l'appendice afin d'avoir un bon coefficient de sécurité.

Dans notre cas :

$$\text{Pression de rupture} : \simeq 5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Pression de remplissage} : 1.85 \text{ "}$$

- Le système équivaut à un thermomètre à tension de vapeur. En contrôlant la pression, on contrôle en même temps la température du liquide.

- Le système étant fermé, la pression donne aussi l'indication du niveau du liquide dans l'appendice.

En effet, pour la constance de la masse on aura

$$\rho_{g1} V_R = \rho_l V_l + \rho_g V_R \quad (1)$$

d'où

$$x = \frac{\rho_{g1} - \rho_g}{\rho_l} K \quad (2)$$

et aussi

$$x = \frac{K}{h} \frac{p_1 - p}{p_2} \quad (3)$$

où

ρ_{g1} = densité du gaz dans les conditions initiales

ρ_g = densité du gaz durant la liquéfaction

ρ_{g2} = densité finale du gaz (appendice pleine)

ρ_l = densité du liquide

V_A = volume appendice

V_l = volume liquide

V_R = volume du réservoir R

p_1 = pression initiale

p = pression durant la liquéfaction

p_2 = pression finale (appendice pleine)

$$K = \frac{V_R}{V_A}$$

$$x = \frac{V_l}{V_a}$$

$$h = \frac{\rho_l}{\rho_{g2}}$$

Pour trouver la pression de remplissage p_1 on pose dans (3) $x = 1$;
 $p = p_2$ et on obtient

$$p_1 = p_2 \left(\frac{h}{K} + 1 \right) \quad (4)$$

Dans notre cas on a choisi $K = 1000$

$h = 840$ (pour 20°K)

$p_1 = 1,840 \text{ atm.}$

Par conséquent l'équation (3) devient

$$x = 1.19 (1.840 - p)$$

qui permettait de connaître le taux de remplissage de l'appendice.

ISOLATION THERMIQUE

Afin de diminuer considérablement les changements des dewars d'hélium et la fréquence des transferts, on a essayé de réduire au maximum les pertes thermiques de la cible.

Les échanges thermiques sont dus principalement au rayonnement entre parois à différentes températures et à la conduction thermique de la suspension. Afin de réduire ces deux sources de chaleur on a :

- entouré le réservoir R_{He} et l'appendice d'un écran maintenu à 77°K par de l'azote liquide.
- utilisé la chaleur spécifique de l'hélium évaporé dans R_{He} pour refroidir un écran soudé au col de suspension et pour intercepter la chaleur conduite par la suspension.
- diminué considérablement la chaleur conduite par la suspension en faisant un pont thermique entre le réservoir d'azote liquide et un point du col suffisamment haut.
- enveloppé les différentes pièces froides (R_{He} et A_{H_2}) avec un matelas de feuilles de mylar aluminé fonctionnant comme écrans thermiques.

REGULATION DE LA TEMPERATURE DE L'APPENDICE

La régulation de la température de l'appendice est réalisée en faisant passer d'une façon intermittente l'hélium gazeux s'échappant de R_{He} , soit au travers de l'espace annulaire autour de l'appendice, soit au travers de l'espace annulaire autour du col de la suspension de R_{He} (voir Fig. 2).

Un pressostat à contact de mercure réglé légèrement au-dessus de la pression atmosphérique, fonctionnant avec un Δp de 10 gr/cm² et relié au circuit "hydrogène", commande l'ouverture ou la fermeture des vannes pneumatiques V_{p_3} et V_{p_4} (Voir Fig. 3).

Les vannes V_{p_3} et V_{p_4} sont connectées en opposition; quand la première est ouverte, la seconde est fermée et vice versa.

L'échappement d'hélium est relié à une conduite de récupération en cuivre qui l'envoie au liquéfacteur. Le remplissage des réservoirs d'hélium et d'azote liquide de la cible peut être effectué automatiquement depuis le panneau de contrôle situé dans le Hall Est du PS.

Le contrôle des niveaux d'hélium et d'azote liquide est fait par des indicateurs du type capacitif; l'élément sensible au niveau est un condensateur composé de 2 ou 3 tubes coaxiaux dont la capacité augmente au fur et à mesure que le liquide monte dans l'espace annulaire entre les tubes.

TRANSFERT DES LIQUIDES CRYOGENIQUES

Le transfert de l'hélium et de l'azote liquide est obtenu par pressurisation du dewar; l'arrêt par dépressurisation.

Les caractéristiques de la ligne de transfert d'hélium ont été choisies en tenant compte :

- a) de la faible chaleur de vaporisation de l'hélium et, par conséquent, de la nécessité d'avoir une petite masse à refroidir avant chaque transfert
- b) de la perte de charge de la ligne qui doit être faible à cause des pertes du liquide, dues à la dépressurisation du dewar.

Afin de concilier ces deux impératifs, les tubes intérieurs ont 4 mm de diamètre int. et une épaisseur de 0.25 mm. Le matériel utilisé a été l'invar, ceci en raison de sa faible contraction thermique. On a en outre réduit à deux les joints de la ligne afin d'avoir un minimum de pertes de chaleur durant le transfert. Les joints de la ligne de transfert sont du type Johnson modifié.

ESSAIS

On a effectué plusieurs essais sur la cible et plusieurs modifications et améliorations ont dû être apportées avant de l'installer dans l'Anneau.

Les défauts trouvés durant les essais et les modifications apportées ont été principalement les suivants :

- a) La consommation d'hélium liquide était trop importante (de l'ordre de 0.7 litre à l'heure), contrairement aux calculs qui indiquaient une valeur beaucoup plus basse. Cette consommation anormale était due à un échange thermique par convection de l'hélium gazeux entre les parois de l'appendice (20°K) et le réservoir R_{He} (4°K). L'hélium gazeux autour de l'appendice, en se refroidissant dans le tuyau à l'intérieur du réservoir, cédait une partie de sa chaleur à l'hélium liquide qui s'évaporait. On refroidissait, par conséquent, l'appendice en utilisant la chaleur latente de vaporisation de l'hélium plutôt que la chaleur spécifique du gaz comme prévu. La modification apportée a été d'entourer le tuyau convoyant le gaz froid de R_{He} à l'appendice avec une autre paroi et séparée de la première par le vide. Le résultat a été de réduire la consommation en hélium liquide à environ un tiers de sa valeur.
- b) Un certain temps après le remplissage, l'hydrogène liquide de l'appendice s'est évaporé toutefois en envoyant continuellement l'hélium dans l'échangeur de l'appendice. Ceci était dû au fait que, après la modification décrite sous a), le débit d'hélium gazeux était insuffisant pour maintenir l'hydrogène à 20°K. On a en effet constaté cet inconvénient au moment où la consommation de R_{He} était très basse (< 0.15 litre /heure). Afin d'augmenter le débit d'hélium on a introduit une résistance électrique dans le réservoir R_{He} . La puissance consommée est variable de 0.10 à 0.50 Watt et elle s'enclenche automatiquement quand la période de régulation (V_{p4} ouverte) est supérieure à 15 minutes. Après les essais on a établi qu'une puissance de 0.15 Watt était suffisante pour garantir un bon fonctionnement de la cible.

Après ces modifications les caractéristiques de la cible sont les suivantes :

- consommation moyenne de 0.25 litre par heure d'hélium liquide;
- consommation d'env. 0.2 litre/heure d'azote liquide;
- vide d'env. 10^{-5} Torr;
- temps de transfert de 20 minutes env. pour l'hélium liquide avec une pressurisation de 250 gr/cm²;
- pertes en hélium liquide durant le transfert très basse;
- fréquence de changement des dewars très réduite (un changement par semaine au maximum).

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus après un certain temps de fonctionnement de cette cible nous encouragent à étudier la possibilité d'utiliser l'hélium liquide comme source de froid pour une grande partie des cibles à hydrogène liquide dans les halls expérimentaux du PS.

La simplification des installations pour la sécurité pourra compenser une plus grande complication technique.

REMERCIEMENTS

Nous remercions G.L. Munday pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail, F. Schmeissner et M. Firth pour leurs suggestions techniques et l'aide apportée pendant les essais.

L. Mazzone

Distribution (ouverte)

sur demande

A N N E X E I

CALCUL DES PERTES DE CHALEUR DU RESERVOIR D'HELIUM LIQUIDE (R_{He})

A) Transmission de chaleur à travers la suspension

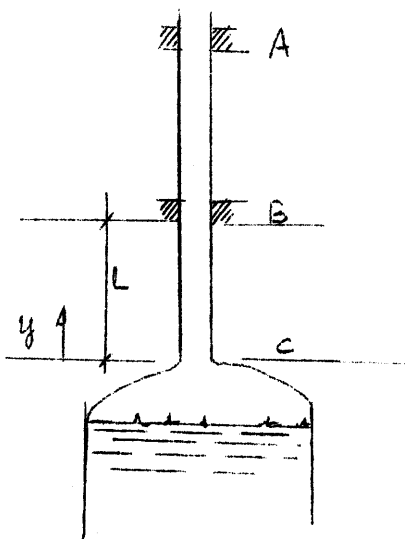


Fig. 5 : Coupe schématique de la suspension

Afin de diminuer le transfert de chaleur par la suspension, on a relié thermiquement le tube d'acier inoxydable au réservoir R_{N_2} à une distance L du réservoir R_{He} . De ce fait le point B (voir Fig. 5 ci-dessus) est maintenu à $77^\circ K$ et le débit calorifique qui atteint R_{He} est relatif à une différence de température de $73^\circ K$ au lieu de $296^\circ K$. En outre l'hélium gazeux s'échappant de R_{He} passe au travers de l'espace annulaire de la suspension et intercepte en grande partie la chaleur conduite par le métal.

Les équations qui donnent cet échange de chaleur sont :

$$\frac{dW}{dy} = \alpha (T_1 - T_2) S \quad (A.I. 1)$$

$$\frac{dT_1}{dy} = \frac{w}{cA} \quad (\text{A.I.}(2))$$

$$\frac{dT_2}{dy} = \frac{\alpha (T_1 - T_2) S}{c_p \dot{m}} \quad (\text{A.I.}(3))$$

où

- w débit calorifique le long de la suspension et fonction de y
- α transfert de chaleur entre gaz et parois
- T_1 température de la suspension à une distance y de R_{He}
- T_2 température du gaz à une distance y
- S surface de contact entre gaz et parois par unité de longueur
- c conductibilité thermique du métal de la suspension
- A section de la suspension
- c_p chaleur spécifique du gaz
- \dot{m} débit massique du gaz.

La recherche d'une solution analytique de ces équations est difficile du fait que c est une fonction de la température. Un programme pour la calculatrice ayant été établi pour des cas similaires [Morpurgo - communication privée], nous l'avons adapté à notre cas.

En prenant $\dot{m} = 3.5 \cdot 10^{-3}$ gr/s, soit 1/10 litre d'hélium liquide par heure, ce qui est un débit minimum, et $\alpha = 2.8 \cdot 10^{-4}$ W/cm²°K comme transfert de chaleur entre gaz et parois correspondant au débit supposé \dot{m} et à la section annulaire, on trouve que w est inférieur à $2 \cdot 10^{-6}$ W ce qui est tout à fait négligeable, ainsi, d'ailleurs, que l'on pouvait le prévoir.

B) Pertes de chaleur par rayonnement

L'échange de chaleur par rayonnement entre deux surfaces à température différente est régi par la formule de Boltzmann.

$$w = A \cdot E \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_f^4) \quad (\text{A.I. 4})$$

où

w	débit calorifique
A	surface froide
E	facteur qui dépend de la géométrie des surfaces et des émissivités
σ	constante de Boltzmann
T_c	température absolue de la surface chaude
T_f	température absolue de la surface froide.

Une technique relativement récente pour diminuer l'échange thermique par rayonnement est celle des écrans multiples "flottants". Si entre les deux surfaces à différentes températures on interpose plusieurs écrans isolés thermiquement, on réduit considérablement l'échange thermique. Cette réduction dépend de l'émissivité des écrans, de l'émissivité des surfaces limites et du nombre d'écrans. Pour un nombre d'écrans supérieur à 10, l'importance d'émissivité des surfaces limites devient négligeable et on peut considérer que l'échange thermique est donné par la formule

$$w = \frac{\sigma \cdot A \cdot E (T_c^4 - T_f^4)}{n + 1} \quad (\text{A.I. 5})$$

où

n = nombre d'écrans

Il est impossible, dans la pratique, d'avoir un grand nombre d'écrans à émissivité très basse, isolés thermiquement de manière parfaite vers l'extérieur et entre eux.

Différents systèmes ont été étudiés et brevetés, notamment aux Etats-Unis.

Le système qu'on utilise pour les cibles du PS est celui développé par la National Research Corporation. Les écrans sont des feuilles de mylar de 6μ , aluminées sous vide, sur un côté, par une couche de 300 \AA d'épaisseur. Le mylar forme une couche isolante entre les surfaces conductrices à basse émissivité; on peut ultérieurement améliorer cette isolation en froissant les feuilles d'une certaine manière.

Le calcul théorique de cette isolation thermique est extrêmement complexe. La formule (A.I. 5) ne peut pas être appliquée parce que la conduction thermique au travers des feuilles n'est pas négligeable. On peut néanmoins considérer que l'échange de chaleur est dû à la somme de deux composantes dont l'une est conductible et proportionnelle à la différence des températures extrêmes et l'autre "rayonnante" et proportionnelle à la différence de la quatrième puissance des mêmes températures. [1]

Pour faciliter les calculs et pour avoir des lois d'une forme analogue à celles de la conduction on introduit une conductibilité thermique apparente de l'isolation. Cette conductibilité dépend évidemment de la densité des feuilles, de la technique de froissement et de la pose et, par conséquent, il existe toujours un facteur d'incertitude dans l'application des données expérimentées par la maison de production ou par les différents laboratoires.

La conductibilité thermique aura la forme :

$$\lambda = K (T_c^3 + T_c^2 T_f + T_c T_f^2 + T_f^3) + K_0$$

où

K_0 est la composante conductible; elle peut varier par rapport à la température, mais on la considère constante.

K dépend de la densité des feuilles et de l'émissivité. Comme pour K_0 on ne considère pas sa variation par rapport à la température.

Nous allons calculer maintenant les pertes par rayonnement de R_{He} en nous basant sur les données NRC (Fig. 6).

Supposons que :

- l'écran d'azote ait une température uniforme (77° K). Cette hypothèse est justifiée étant donné que l'écran est de cuivre et qu'il a une épaisseur de 2 mm.
- l'écran E_N soit inexistant. Cette supposition compense les défauts dus à la pose du mylar et aux trous existants pour le passage des différents tuyaux.
- l'isolation autour de R_{He} soit la même partout. Ceci n'est pas exact car la partie inférieure est loin de l'écran d'azote, qui est aussi interrompu à la hauteur des fenêtres d'entrée et de sortie du faisceau (voir Fig. 2).

Néanmoins les incertitudes énoncées plus haut, relatives à ce genre de calcul, rendent cette hypothèse acceptable, surtout parce que l'on attend de ce calcul un ordre de grandeur plutôt qu'une valeur exacte.

L'isolation de R_{He} est formée de 100 feuilles sur une épaisseur de env. 25 mm. Le débit calorifique unitaire selon les tables NRC (Fig. 6) est $3.7 \cdot 10^{-5}$ Watt/cm². Cette valeur est valable pour des températures limites de 300°K et 77°K. Pour trouver la valeur entre 77°K et 4°K il faut trouver les composantes dues au rayonnement et à la conduction.

$$w = w_c + w_r$$

$$w_r = 1.1 \cdot 10^{-5} \text{ Watt/cm}^2 \quad (\epsilon = 0.05)$$

$$w_c = 2.6 \cdot 10^{-5} \text{ Watt/cm}^2$$

Avec des températures limites de 77°K et 4°K

$$w_r = 0.005 \cdot 10^{-5} \text{ Watt/cm}^2$$

$$w_c = 2.6 \cdot 10^{-5} \cdot 73/223 = 0.85 \cdot 10^{-5} \text{ Watt/cm}^2$$

on aura pratiquement $w = w_c = 0.85 \cdot 10^{-5} \text{ Watt/cm}^2$

La surface totale de R_{He} est $5.4 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$

$$w = 4.6 \cdot 10^{-2} \text{ Watt}$$

C) Pertes par conductibilité thermique du gaz dans le col de la suspension (voir Fig. 2)

Sans tenir compte des écrans horizontaux en aluminium reliés thermiquement au tube intérieur de la suspension et de l'effet refroidissant du gaz d'échappement froid, on aurait

$$\lambda_{\text{moy}} \text{ entre } 300 \text{ et } 4^\circ\text{K} = 10^{-3} \text{ Watt/cm } ^\circ\text{K}$$

$$w = \frac{A \lambda_{\text{moy}}}{l} = \frac{10^{-3} \cdot 20}{50} = 0.12 \text{ Watt.}$$

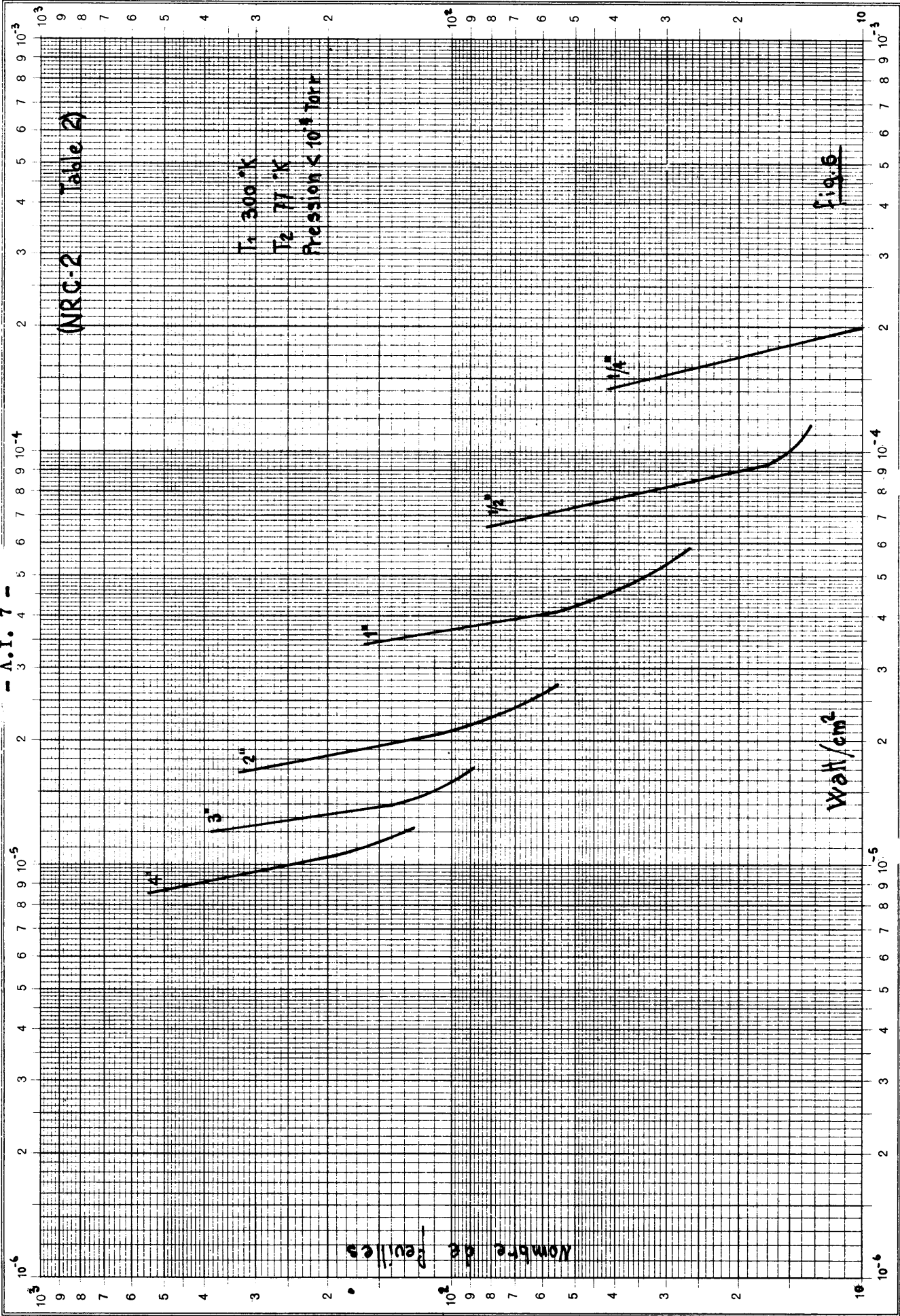
En réalité il faut considérer que ce débit calorifique est presque totalement intercepté par le gaz d'échappement à cause de la grande capacité thermique de celui-ci entre 300 et 4°K et à cause des écrans horizontaux qui sont refroidis par le gaz sortant.

On peut donc considérer que cette perte est négligeable ou très réduite.

En résumé on peut donc considérer que les pertes totales de R_{He} sont de l'ordre de 0.06 Watt, équivalent à une ébullition de 0.08 l. d'hélium liquide par heure. L'expérience a donné, dans des conditions stables, 0.1 l/h.

REFERENCE

- [1] R.C. GETTY et al.
Cryogenic Engineering Conference, Vol. 11, page 35.



A N N E X E I I

CALCUL DES PERTES DE CHALEUR DE L'APPENDICE

A) Fenêtres d'entrée et de sortie du faisceau

Afin d'avoir une petite masse par unité de surface à l'entrée et à la sortie du faisceau, l'écran E_{N_2} est percé de deux trous de 60 mm de diamètre. Ces ouvertures ont été recouvertes d'un matelas de 20 feuilles NRC 2 d'une épaisseur de 5 mm au maximum.

Dans ce cas on a

$$\frac{W}{A} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Watt/cm}^2 \quad (\text{Fig. 6})$$

$$w_r = 0.6 \cdot 10^{-4} \text{ Watt/cm}^2 \quad (\epsilon = 0.05)$$

$$w_c = 1.4 \cdot 10^{-4} \text{ Watt/cm}^2$$

et si l'on corrige l'écart de température :

$$w_r = 0.6 \cdot 10^{-4} \text{ Watt/cm}^2$$

$$w_c = 1.4 \cdot 293/223 \cdot 10^{-4} = 1.84 \cdot 10^{-4} \text{ Watt/cm}^2$$

$$w = 2.44 \text{ Watt/cm}^2$$

Pour rester dans le cas le plus défavorable on considère la surface de l'ouverture

$$D = 6 \text{ cm}$$

$$A = 28.4 \text{ cm}$$

$$w = 2 \cdot 28.4 \cdot 2.44 \cdot 10^{-4} = 0.0138 \text{ Watt}$$

B) Corps cylindrique

La partie cylindrique étant très bien isolée et en face d'une surface à 77°K, ses pertes, bien inférieures à 0.0138 Watt, pourront être négligées.

Le débit d'hélium nécessaire au refroidissement de l'appendice a été beaucoup plus élevé que celui que l'on pouvait déduire des calculs. Ceci est dû :

- a) aux différents tuyaux reliant l'appendice à R_{He} , à l'échappement H_0 et au réservoir chaud d'hydrogène; ces tuyaux n'étaient pas très bien isolés.
- b) au fait que l'hélium rentrait dans l'appendice à une température supérieure à 4°K et sortait à une température inférieure à 20°K.
- c) au fait que les fenêtres en différentes couches de mylar aluminé à l'entrée et à la sortie du faisceau ont été fixées d'une façon telle que les feuilles étaient trop comprimées et, par conséquent, la conduction était très importante.

C) Conclusion

La consommation totale et moyenne en hélium liquide a été de 0.25 l par heure; en disposant au CERN d'un liquéfacteur à proximité ainsi que de dewars de 100 litres, les opérations de remplissage des dewars et leur transport n'étaient pas fréquents.

Il faut encore ajouter que les pertes de chaleur, considérées plus haut ne survenaient qu'après au moins une semaine de fonctionnement. En effet, le temps nécessaire aux feuilles aluminées pour atteindre une température d'équilibre est très long.

A N N E X E I I I

TRANSFERT D'HELIUM LIQUIDE

Le transfert de l'hélium se fait par pressurisation du dewar. Au début du transfert le liquide est vaporisé et, en même temps, on refroidit la ligne. Un état d'équilibre est atteint lorsque les variations de température par rapport au temps deviennent négligeable.

Pendant cette période, le transfert devrait, de préférence, être accompli en phase liquide et ceci afin d'éviter une plus grande perte de charge dans la canalisation. De plus, il est plus facile de prévoir le processus du transfert.

Calcul des pertes de charge pendant le transfert de l'hélium en phase liquide

Cette condition est atteinte lorsque l'apport de chaleur de l'extérieur vaporise une quantité de liquide négligeable par rapport au débit. Pour les liquides la perte de charge est donnée par la relation

$$dp = \frac{f G^2 V_m}{2 r_h} dl \quad (\text{A.III.1})$$

où

G débit massique par unité de section

f coefficient de frottement qui dépend de la rugosité des tuyaux et du nombre de Reynolds - $f = 0.046/Re^{0.2}$

V_m volume spécifique moyen du liquide

r_h rayon hydraulique

Après différentes transformations la relation (A.III.1) prend la forme

$$\frac{\Delta p}{\Delta l} = 0.522 \cdot 10^{-4} \frac{V^{1.8}}{d^{4.8}} \quad (\text{A.III.2})$$

valable pour l'hélium liquide.

On exprime

p en atm.
l en mètres
V en litres d'hélium liquide par minute
d en cm.

La Fig 7 donne cette fonction pour différents diamètres de la ligne.

Dans notre cas, nous avons pensé qu'un débit d'env. 1 litre par minute d'hélium serait satisfaisant.

Pour D = 4 mm on a :

$$\frac{\Delta p}{\Delta l} = 4.4 \cdot 10^{-3} \text{ atm/ml}$$

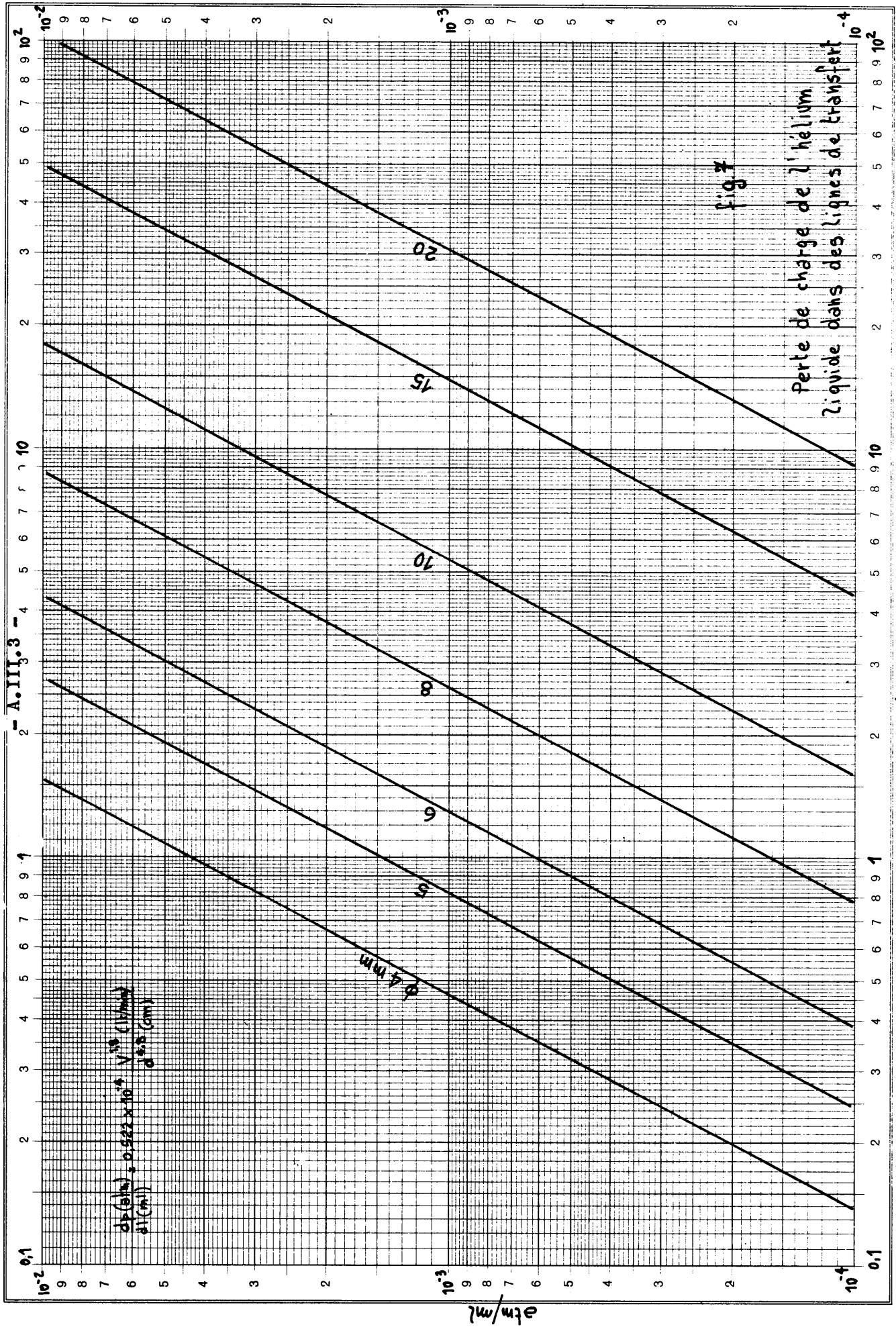
$$L = 14 \text{ m}$$

$$\Delta p = 57 \cdot 10^{-3} \text{ atm ou } 57 \text{ gr/cm}^2$$

En réalité l'écoulement ne se fait pas en pure phase liquide car les pertes de la ligne ne sont pas tout à fait négligeables. On a estimé ces pertes à 5 Watt. Ce débit calorifique évapore 6.7 litres de liquide par heure et, dans notre cas (60 l/h) on évaporerait au bout de la ligne 11% env du liquide. Le calcul de la perte de charge dans ces conditions n'est pas simple et, dans notre cas, pas nécessaire. En effet, il est important de connaître la limite supérieure de cette perte de charge Celle-ci est facilement calculable parce qu'elle correspond à un écoulement en phase gazeuse. La perte de charge étant proportionnelle au volume spécifique (voir A.III.1) et le rapport des volumes spécifiques de l'hélium gazeux et liquide étant 8 on aura :

$$\Delta p \simeq 450 \text{ gr/cm}^2$$

On saura que Δp sera entre 57 et 450 gr/cm², ce qui est acceptable.



lt/min

Teilung } 1-100 und 1-1000 Einheit } 90 mm
Logar. Division } 1-100 und 1-1000 Unité }

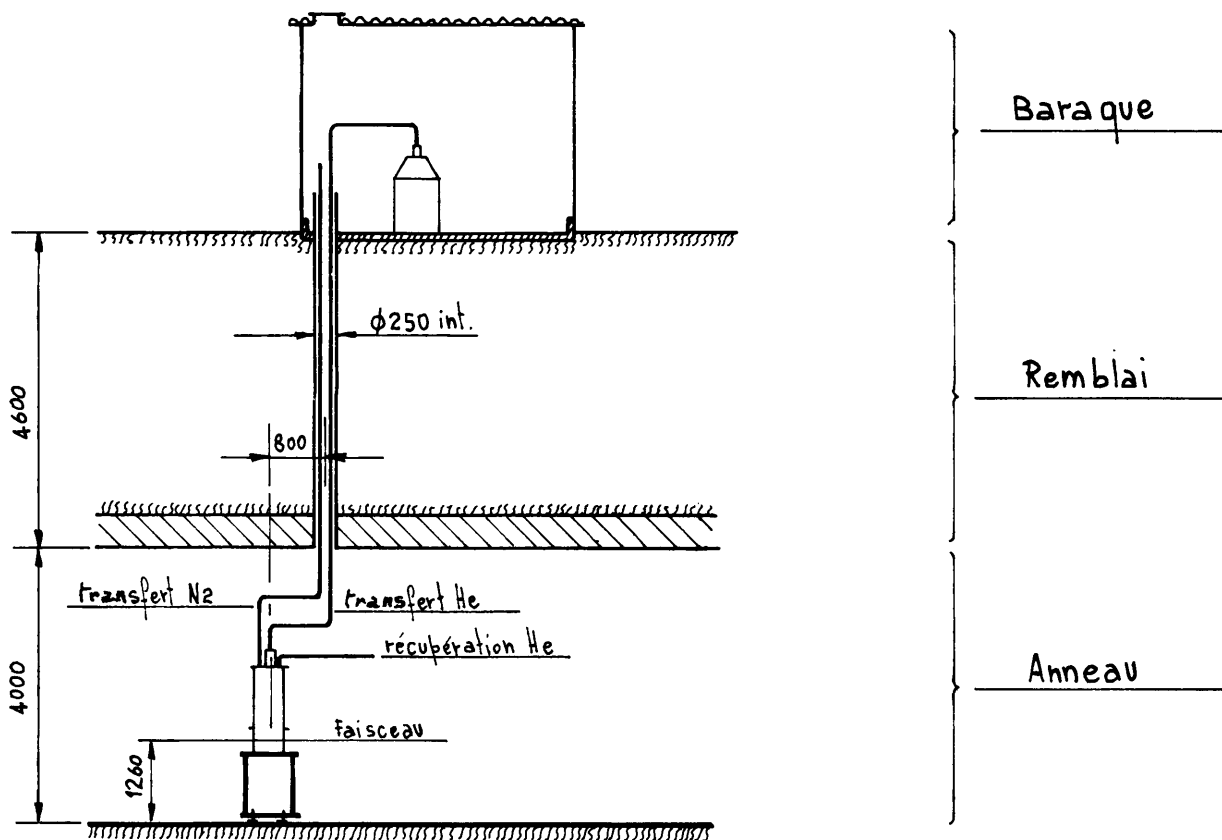
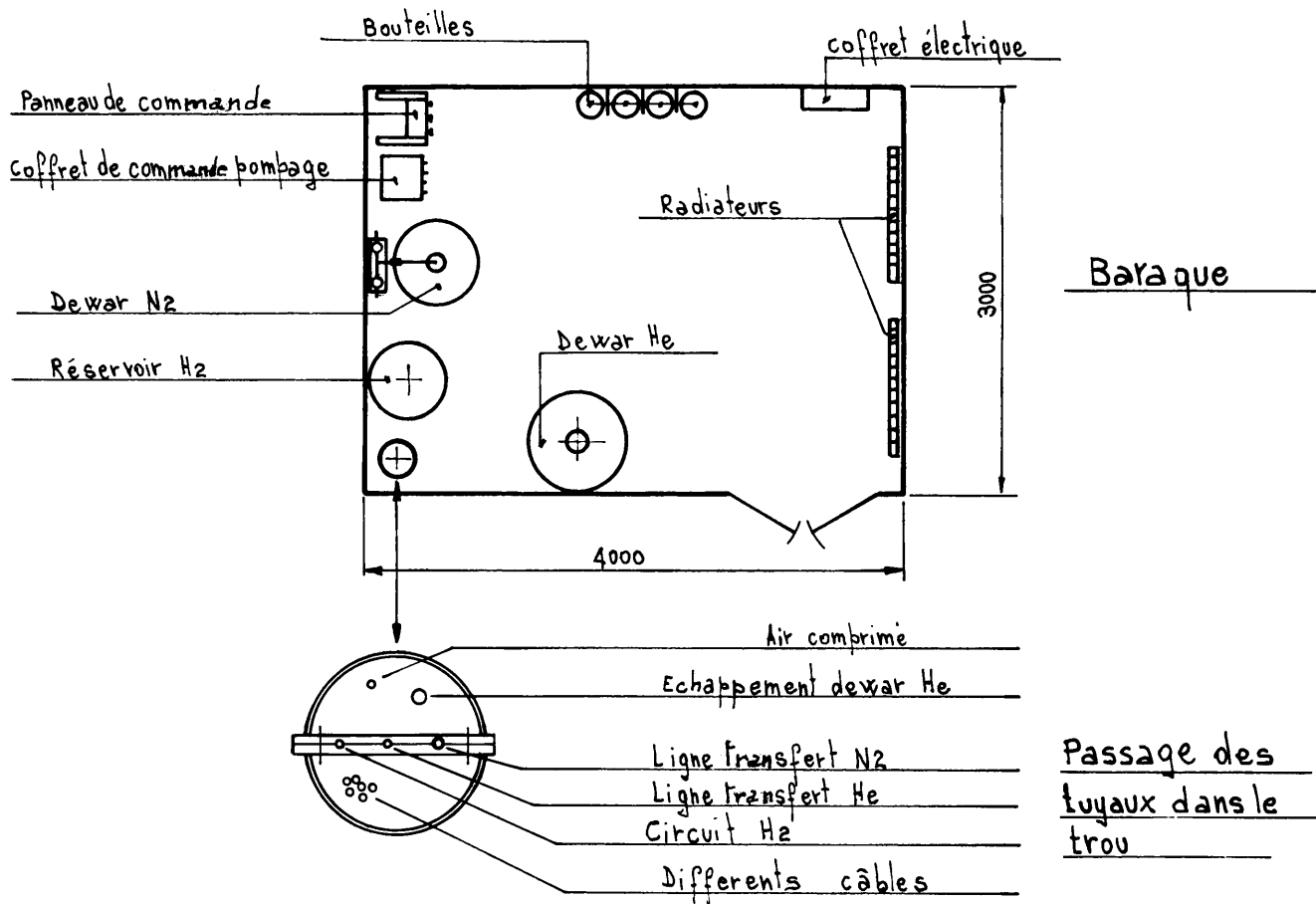


Fig.1: Plan de la baraque et coupe verticale de l'anneau par rapport à la cible.

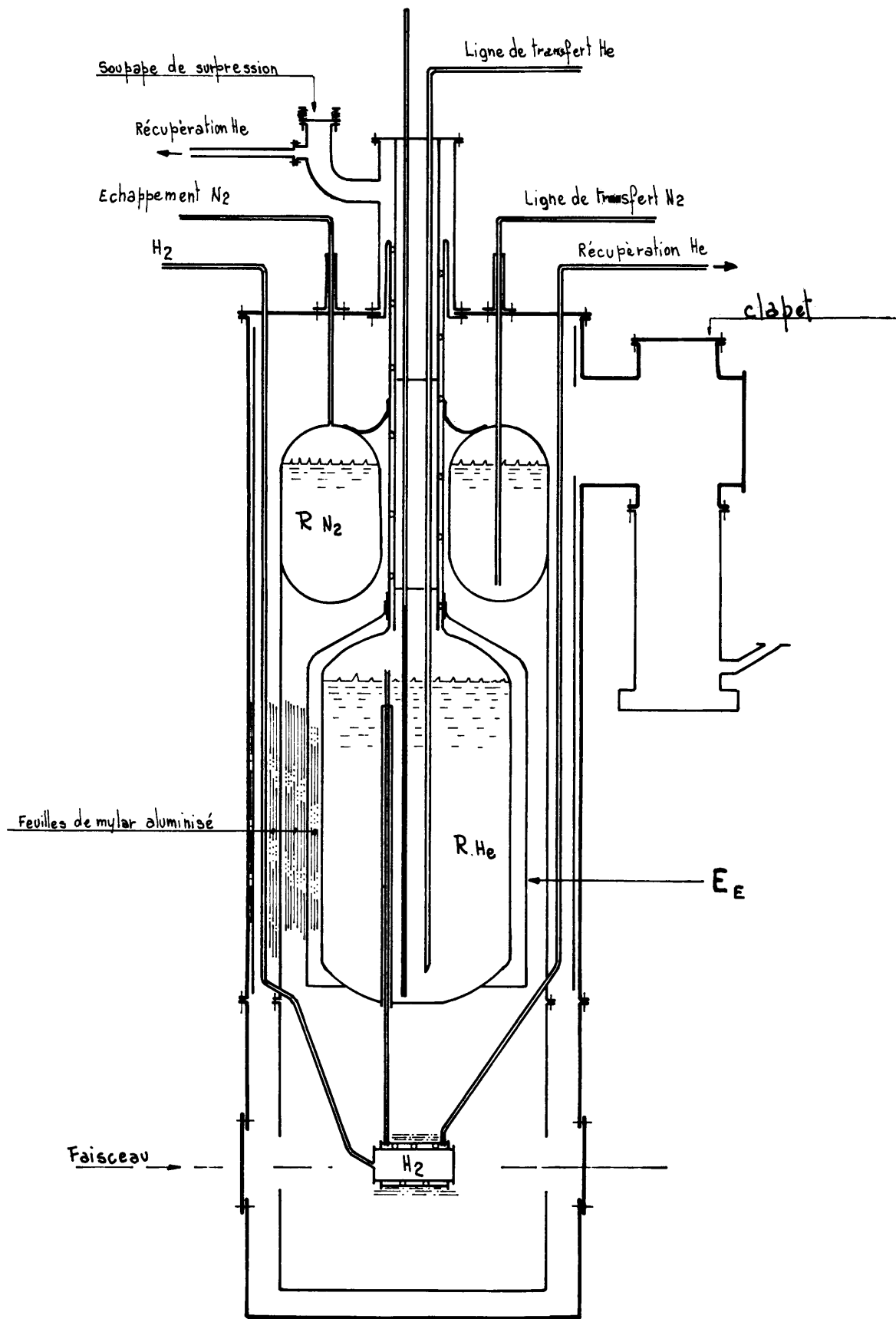


Fig. 2 : Coupe schématique de la cible

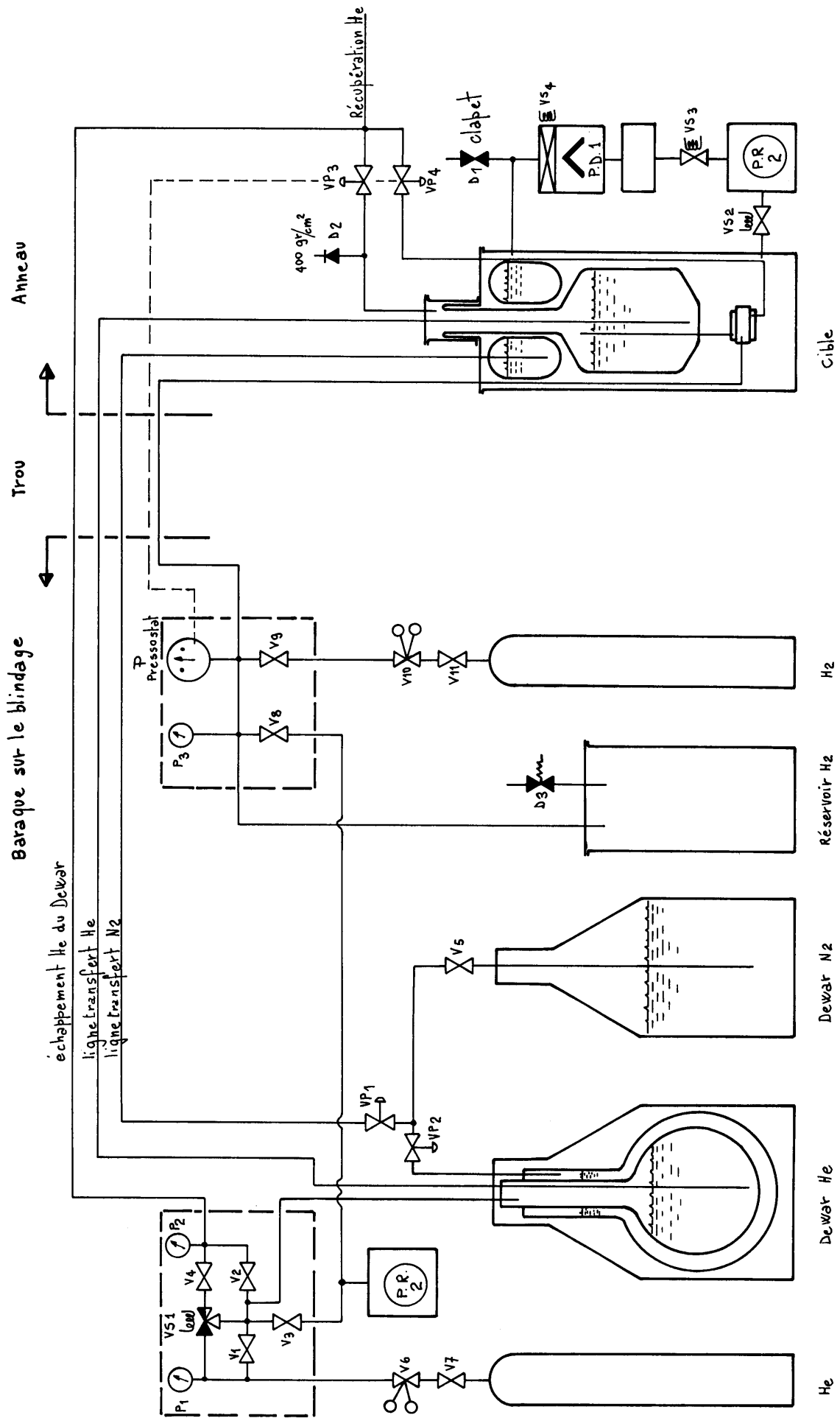


Fig. 3 : schéma de l'installation de la cible H₂ (Paisseau S4)

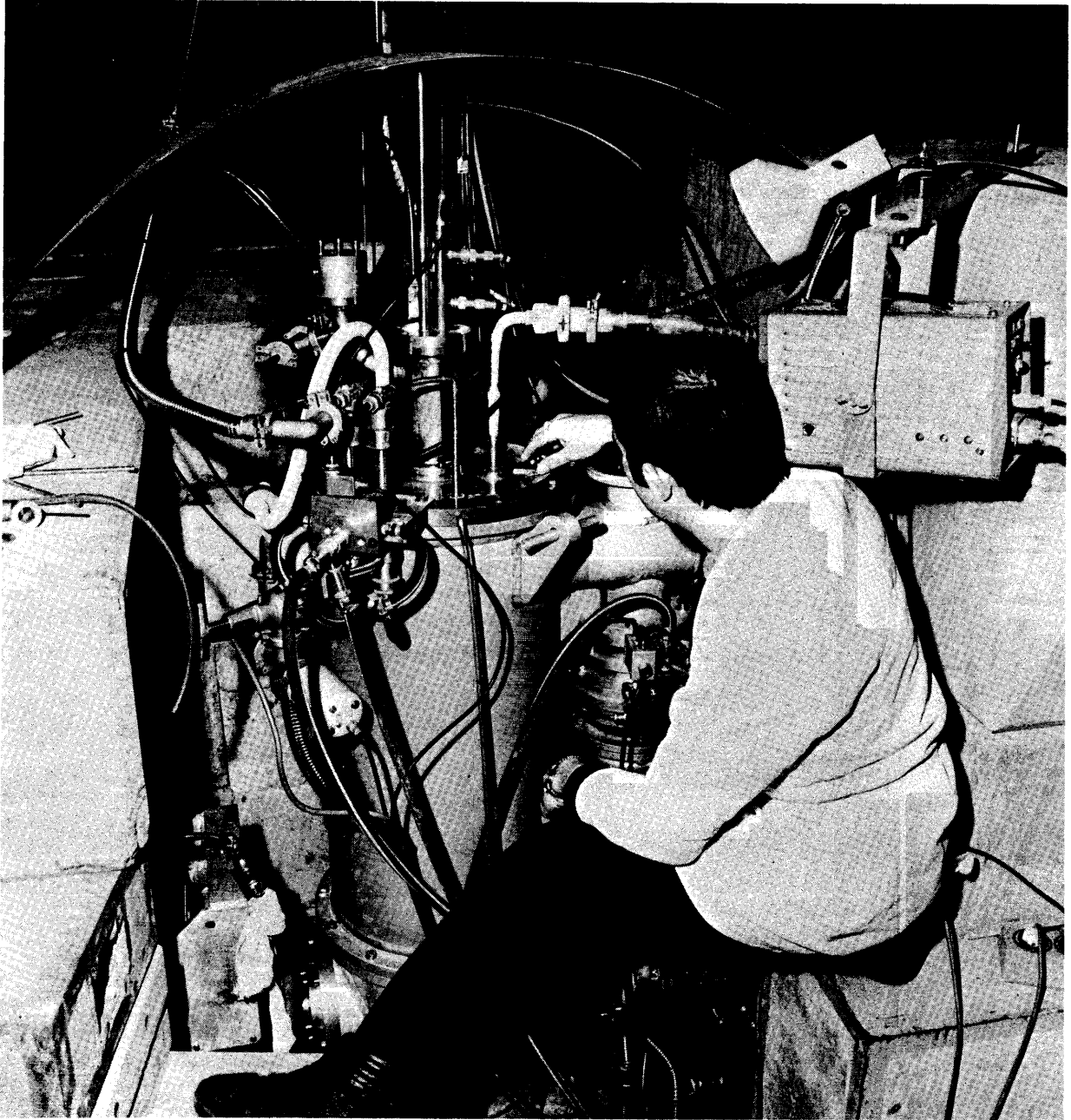


Fig. 4 : Vue de l'installation dans l'Anneau

RESUME DE RAPPORT

CIBLE A HYDROGENE LIQUIDE REFROIDIE A L'HELIUM

UTILISEE SUR LE FAISCEAU s₄ DU PS

par

L. Mazzone

(Ref.: MPS/Int. MU/H 68-1 - 5.8.68)

Il s'agit de la description de la cible à hydrogène liquide et de l'appareillage utilisés dans l'Anneau du PS. Vous trouverez également quelques calculs sur les problèmes de transfert de chaleur et d'hélium.

Ce rapport est à la disposition des personnes intéressées; à cet effet, veuillez remplir la note ci-dessous.

Distribution : Personnel Scientifique et Technique MPS

A : Melle L. Deberti Division MPS

De : Division

Veuillez S.V.P. m'envoyer ... copie(s) du rapport
MPS/Int. MU/H 68-1, daté du 5.8.68, de L. Mazzone.