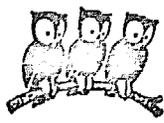


LAL-1263
Notice 1036
V L N F
M E A
I N S

UNIVERSITÉ DE PARIS
ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE



LABORATOIRE

de

L'ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE

CIBLE A DEUTERIUM LIQUIDE

D. BLUM - J. ROUCROT - W. Mc GILL - H. NGUYEN NGOC - B. CROSSETETE

J.P. HENAUT - R. MOTTA - M. ROCH - V. ROUND

adresser la Correspondance
BATIMENT 200
ORSAY - 91
FRANCE

L.A.L. 1263
Mai 1972

C I B L E A . . . D E U T E R I U M L I Q U I D E

D. BLUM - J. BOUCROT - W. Mc GILL - H. NGUYEN NGOC - B. GROSSETETE

J.P. HENAUULT - R. MOTTA - M. ROCH - V. ROUND

ABSTRACT

An original liquid deuterium target has been built at the Orsay Linear Accelerator Laboratory to study the interaction of monochromatic gamma rays of 400 MeV with deuterons. We give here the description and the performances of the target and of the automatic system which provides it with liquid deuterium during several weeks, without any human intervention.

I. INTRODUCTION

Nous décrivons une cible à deutérium liquide alimentée en circuit fermé par un reliquéfacteur. Elle a été réalisée au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay en vue d'une expérience étudiant la photoproduction des mésons π^- sur le deutérium :



Les solutions techniques adoptées pour la réalisation de cet ensemble ont été imposées par les contraintes propres à cette expérience.

1. Contraintes géométriques

Nous désirons déterminer les paramètres cinématiques des particules produites, en analysant leurs trajectoires dans une induction magnétique d'intensité 1,7 Tesla créée par un électro-aimant dont les pôles sont distants de 26 centimètres. La cible doit donc être placée dans l'entrefer de l'électro-aimant; les dimensions restreintes de celui-ci, ainsi que le désir de dégager un angle solide de détection aussi grand que possible, excluent le recours à une cible de conception traditionnelle installée dans un cryostat à réserve d'hydrogène liquide.

Le faisceau de photons ayant un diamètre voisin de 3 centimètres au niveau de la cible, nous avons choisi d'utiliser un appendice de 5 centimètres de diamètre pour contenir le deutérium liquide.

Nous avons déterminé que sa longueur devait être de 10 centimètres pour fournir un nombre d'événements raisonnable sans introduire une mauvaise résolution.

L'enceinte à vide isolant l'appendice doit être suffisamment petite pour ne pas empiéter sur l'espace réservé aux chambres à fils proportionnelles nécessaires à la détection des particules. Elle doit

posséder une fenêtre assez grande pour que l'angle solide de détection soit satisfaisant. Toutes les canalisations associées à cette enceinte et à l'appendice doivent être groupées dans l'angle mort de détection, sans gêner le passage du faisceau de photons incidents.

Enfin, nous désirons que l'axe de l'appendice coïncide au millimètre près avec celui du faisceau, et que la position longitudinale de la cible soit connue avec une précision inférieure au millimètre.

2. Contraintes d'épaisseur de matière

Le faisceau de photons interagit avec la matière qu'il rencontre. D'une part, il crée des événements de photoproduction et des paires électron-positron sur les noyaux; d'autre part, il produit l'effet Compton sur les électrons des atomes.

Pour réduire ces réactions parasites, il faut diminuer autant que possible l'épaisseur et la densité des matériaux constituant les parois de l'enceinte à vide et de l'appendice. Ceci impose l'utilisation de matériaux dont la résistance mécanique sous faible épaisseur demeure excellente à basse température. Nous avons choisi le mylar pour l'enceinte à vide, et le kapton pour l'appendice.

3. Nécessité d'utiliser un reliquéfacteur fonctionnant en circuit fermé

Cette nécessité provient d'une part des contraintes géométriques énumérées ci-dessus, et d'autre part du désir d'assurer un fonctionnement continu et automatique de l'expérience pendant de très longues durées sans imposer la présence permanente d'un physicien. De plus, la cible se trouvant au voisinage immédiat d'appareils de détection très fragiles, il est exclu de prendre le risque d'effectuer des transferts d'hydrogène liquide.

Il faut donc prévoir une ligne de transfert, soigneusement isolée, reliant le reliquéfacteur à la cible qui doivent être placés à des niveaux nettement différents pour que le liquide s'écoule par gravité le long de la ligne.

4. Sécurité du personnel travaillant sur l'expérience

L'utilisation du reliquéfacteur permet d'utiliser la quantité de deutérium liquide strictement nécessaire, et supprime toutes les manutentions et transferts de deutérium et d'hydrogène liquides. Les risques encourus par le personnel travaillant sur l'ensemble de l'appareillage se trouvent ainsi considérablement réduits.

En outre, plusieurs dispositifs de sécurité indépendants ont été installés, les uns pour éviter tout risque d'éclatement de l'appendice, les autres pour évacuer sans danger le deutérium vaporisé brusquement au cas où les précédentes sécurités n'auraient pas fonctionné.

II. DESCRIPTION GENERALE DE L'INSTALLATION (Fig. 1)

La cible utilisée dans l'expérience est constituée d'un volume de 200 cm^3 de deutérium liquide. Celui-ci est contenu dans un appendice à parois minces transparent dans toutes les directions aux photons, protons et mésons π . Pour fabriquer et entretenir ce liquide, tout en respectant les impératifs de sécurité relatifs au deutérium, une installation spéciale a été conçue à cet effet.

Cet ensemble permet de conserver indéfiniment un volume de gaz liquéfié de 500 cm^3 environ réparti entre l'appendice et les canalisations. La conception de l'installation permet d'une part d'assurer l'autonomie complète de fonctionnement pendant la durée d'une expérience de plusieurs semaines, et d'autre part d'améliorer la sécurité quant au risque d'explosion en n'utilisant qu'une faible quantité de 1 m^3 de deutérium gazeux.

Cette installation comprend un container de 1000 litres rempli de gaz à la pression absolue de 1,1 bar. Un tube en cuivre conduit le gaz vers la tête réfrigérante d'un reliquéfacteur PHILIPS PPH 110

équipé d'un piège cryogénique. Une ligne de transfert souple, isolée par une enceinte à vide, recupère le liquide. Celui-ci s'écoule par gravité jusqu'à l'appendice isolé lui-même dans une enceinte à vide cryostatique. Enfin, à partir de celui-ci, un tube à parois minces en acier inoxydable placé dans l'enceinte à vide, puis un tuyau en cuivre, équipé d'un clapet anti-retour, ramène le gaz directement au container. En cas de surpression accidentelle dans l'appendice, ces éléments permettent l'évacuation rapide du deutérium gazeux contenu dans l'appendice.

Tout le circuit qui contient le deutérium est rigoureusement isolé du milieu extérieur. De ce fait il est étanche au vide, et le contrôle d'étanchéité s'effectue à l'aide d'un détecteur de fuites à spectrographe de masse, réglé pour l'hélium. Mais nous utilisons le deutérium comme gaz traceur, étant donné que l'écart relatif de sa masse avec celle de l'hélium n'est que de 0,62%. Le contrôle de qualité des parois nous permet de détecter des entrées éventuelles d'air et de vapeur d'eau. Ces gaz pourraient provoquer une détonation, ou bien former à basse température un bouchon solide obstruant les canalisations.

III. DESCRIPTION DETAILLEE DES DIFFERENTS ORGANES

La fabrication et la mise au point de cet ensemble se sont effectuées en deux étapes : une fois les différents éléments installés, nous avons procédé à des essais avec de l'hydrogène, puis, en fonction des résultats obtenus, nous avons corrigé les imperfections de l'installation en vue de son utilisation avec le deutérium.

1. Le reliquéfacteur PPH 110 PHILIPS

Cette machine fonctionne conformément au cycle de Stirling. Le gaz cryogénérateur utilisé est l'hélium et la liquéfaction de l'hydrogène ou du deutérium se fait par condensation dans un échangeur thermique après passage dans un piège cryogénique. La puissance cryogénique en reliquéfaction nous est fournie par une courbe établie

par le constructeur. Dans nos conditions de travail, elle est de 120 W à 24°K, température correspondant à la liquéfaction commençante du deutérium sous une pression de 1,1 bar. Le débit du liquide en régime de reliquéfaction est alors de 8,6 l/h. Cette puissance tombe à 105 W à 22°K, le débit correspondant étant 7,5 l/h. C'est au voisinage de ces valeurs que nous avons choisi le régime de fonctionnement de la machine.

Des essais préliminaires ont été effectués en utilisant de l'hydrogène. La figure 2 nous montre les différentes étapes d'une liquéfaction, grâce à la courbe donnant l'évolution de la pression du gaz en fonction du temps. On distingue sur cette courbe plusieurs paliers.

Le premier (a), correspond au temps mis par le reliquéfacteur pour atteindre sa pleine puissance; sa durée moyenne est de 40 minutes. Une jauge à vide placée sur l'enceinte à vide d'isolement de l'appareil permet de détecter l'instant précis de l'amorçage du pompage cryogénique : la pression passe brusquement de 10^{-4} à 10^{-7} torr.

Après une faible chute de pression, qui indique la diminution du volume gazeux contenu dans le reliquéfacteur, on atteint un deuxième palier (b), dû au refroidissement de la ligne de transfert. Ensuite une baisse régulière de la pression correspond au remplissage des spires de la ligne transfert par l'hydrogène liquéfié.

Un troisième palier (c), marque le refroidissement de l'appendice en kapton; une jauge à vide placée dans l'enceinte correspondante indique l'amorçage du pompage cryogénique dans celle-ci, la pression tombant à une valeur inférieure à 10^{-6} torr. Puis, une nouvelle baisse de la pression correspond au remplissage de l'appendice par l'hydrogène liquide.

Enfin, un dernier palier (d), indique la mise en température de la pièce de laiton qui soutient l'appendice.

L'étude de cette courbe ne nous permet pas de vérifier la puissance du reliquéfacteur, car celle-ci est consommée par plusieurs phénomènes simultanés. Le premier est le refroidissement du gaz, puis

sa reliquéfaction; ensuite, vient le refroidissement des différentes masses métalliques. Il faut ajouter à cela les pertes thermiques dues au rayonnement. Pendant toute la phase de première liquéfaction, la machine fonctionne donc simultanément en liquéfacteur du gaz hydrogène, et en reliquéfacteur des vapeurs réémises par le liquide.

Néanmoins, la mesure de la pente de la courbe de liquéfaction lorsque le dernier palier est terminé nous a permis de constater que la puissance de liquéfaction pour l'hydrogène dépasse 120 W. La seule consommation d'énergie qui se produit en effet est due, d'une part, au refroidissement et à la liquéfaction du gaz, et d'autre part, aux échanges thermiques avec le milieu extérieur. Cette puissance mesurée est supérieure à la puissance de reliquéfaction, ce qui tient au fait que le piège cryogénique situé à l'entrée du reliquéfacteur refroidit le gaz qui pénètre dans la tête cryogénique.

Pendant les essais préliminaires, nous avons également observé que la machine pouvait solidifier l'hydrogène. Nous avons constaté ce phénomène en disposant des fenêtres transparentes qui nous permettaient d'observer l'intérieur d'un appendice contenant le liquide. Pour éviter que la formation de bouchons dus à ce phénomène ne soit la cause d'incidents, nous avons ajouté sur l'installation un dispositif de sécurité que nous décrirons plus loin.

2. La ligne de transfert du liquide

Cette ligne, construite au laboratoire, est d'une longueur de 4 mètres. Elle est constituée de deux tubes flexibles en acier inoxydable disposés concentriquement. Sa chambre à vide d'isolement thermique communique avec celle du reliquéfacteur. Le banc de pompage de ce dernier y maintient une pression de 10^{-4} torr à la température ambiante. Cette valeur constitue un minimum nécessaire pour que l'amorçage de la liquéfaction se produise. Les essais de liquéfaction tentés alors que la pression était comprise entre 10^{-2} et 5.10^{-4} torr se sont soldés par des échecs.

Le tube interne est maintenu par 20 entretoises en téflon

taillées en biseau aux points de contact. Leur encombrement a été diminué de façon que la conductance dans l'enceinte à vide permette d'atteindre en tout point un bon vide. Pour améliorer l'isolement thermique, on a recouvert le tube interne de plusieurs couches de mylar aluminisé.

Enfin, cette ligne est connectée au reliquéfacteur et à l'appendice au moyen de joints d'indium.

3. L'enceinte à vide d'isolement thermique de la cible (Fig. 3)

Elle a été également étudiée au laboratoire. Cette pièce a été taillée en forme de U dans un bloc d'AU4G et elle présente un angle d'observation ininterrompu de 210° .

Les deux plaques en porte-à-faux mesurent 36 cm de longueur et 20 cm de largeur. Leur distance mutuelle est de 26 cm hors tout.

Ces plaques supportent une force voisine de 10 000 N lorsqu'on fait le vide dans l'enceinte. Le couple ainsi produit aux points de fixation dépasse 1500 m N. Il faut ajouter à cela la traction exercée par la feuille de mylar servant de fenêtre et permettant de vider le volume interne. La flèche prise par chaque plaque et mesurée à son extrémité libre est de 1,5 mm.

La feuille de mylar, large de 20 cm, longue de 80 cm et épaisse de 170 microns est collée sur le pourtour de l'enceinte à l'aide d'araldite. Un premier collage à l'aide de colle 3M 2216 s'était révélé insuffisant. (On a observé la formation de failles dans cette colle plusieurs jours après sa mise sous tension).

Un groupe de pompage, placé à un mètre de l'enceinte pour libérer la place nécessaire aux chambres à fils, permet d'atteindre une pression de 10^{-5} torr à la température ambiante.

Une membrane d'éclatement a été fixée à l'arrière de l'enceinte pour permettre d'évacuer le deutérium en cas de rupture de l'appendice à deutérium liquide. Cette membrane est constituée d'une feuille de

kapton de 25 microns d'épaisseur étanche au vide, et qu'un petit couteau peut déchirer en cas d'inversion de pression relative dans l'enceinte. Cette feuille permet au faisceau de photons de pénétrer jusqu'à la cible.

A l'extérieur de cette membrane, une canalisation d'évacuation peut collecter le deutérium gazeux résultant de l'éclatement de l'appendice, et l'évacuer à l'extérieur du local. La section de cette canalisation a été calculée de telle sorte qu'elle permette d'évacuer $0,5\text{m}^3/\text{s}$ de gaz dans les conditions normales et sous une pression différentielle de 1 bar.

4. L'appendice à deutérium liquide (figure 4)

Le deutérium liquide qu'il contient constitue la cible proprement dite. Il est constitué d'une feuille de kapton de 50 microns d'épaisseur, roulée en cylindre de 10 cm de longueur, et collée suivant une génératrice à l'aide de colle 3M 2216. A chaque extrémité sont collées de la même façon deux hémisphères en kapton de même épaisseur.

Plusieurs appendices de ce type ont fonctionné au Laboratoire ces dernières années. Ils ont été remplis d'hydrogène ou deutérium liquide sous pression de 1 bar absolu, et placés pendant de nombreuses heures dans des faisceaux de photons ou d'électrons, d'énergies comprises entre 200 MeV et 2 GeV. Nous n'avons jamais constaté de dégradation des qualités mécaniques du kapton et de la colle 3M 2216 au cours de ces expériences.

Les hémisphères en kapton sont fabriquées par déformation à haute température et sous haute pression d'azote dans un moule en acier inoxydable soigneusement poli.

L'ensemble ainsi formé est fixé sur un bloc support en laiton de 0,9 kg servant de capacité thermique stabilisatrice à la température de liquéfaction. Nous avons utilisé plusieurs fois cette technique à l'occasion d'autres expériences, et nous avons constaté que son effet est favorable.

Ce bloc de laiton relie l'appendice à la ligne de transfert. Il est percé d'un canal qui permet le remplissage de l'appendice en deutérium liquide.

Tout cet ensemble a une bonne tenue au vide. Il permet en effet d'atteindre une pression dans l'enceinte de l'ordre de 10^{-7} torr par pompage cryogénique, malgré la perméabilité du kapton.

L'appendice cylindrique ainsi fabriqué est testé à une surpression interne de 1,5 bar à 20°C. Des essais d'éclatement effectués sur plusieurs exemplaires ont montré que la rupture survenait entre 3 et 3,5 bar.

Lorsque l'installation est au repos, l'appendice supporte une pression interne de 1,1 bar. Lorsqu'elle fonctionne, cette pression tombe à 0,6 bar à la température de 22°K.

L'appendice, l'enceinte à vide et la fenêtre en mylar sont tapissées du côté du vide par une couche de mylar aluminisé. Néanmoins, une petite fenêtre d'observation optique a été aménagée de façon à contrôler le niveau du liquide de la cible pendant la liquéfaction.

5. La ligne de retour direct du gaz au container

Comme on avait observé que la solidification de l'hydrogène était possible dans le reliquéfacteur, il était prudent de prévoir la possibilité de bouchage d'une canalisation par du deutérium solide et même en cas d'entrée d'air accidentelle par de la glace ou de l'air solidifié. On a donc installé une canalisation de sécurité qui relie directement l'appendice au container. En cas d'augmentation de la pression dans l'appendice en kapton, celle-ci peut évacuer rapidement le gaz en surpression qu'il contient.

De plus, on a muni cette ligne d'un double clapet anti-retour. Son rôle est d'empêcher le gaz de passer directement du container à l'appendice. Le deutérium doit en effet traverser le piège cryogénique avant d'être liquéfié. D'autre part, la pression d'ouverture

de chaque clapet est de 20 mbar dans le sens passant. Ces éléments ont été fabriqués au Laboratoire et la mesure de leur débit a donné 7,5 l/s d'azote à 20°C, à la pression absolue de 1 bar environ, et sous une pression différentielle de 200 mbar. Le débit calculé de chaque élément pour le deutérium est donc voisin de 20 l/s.

Le débit calculé de la canalisation de sécurité, munie de ses clapets, est dans les conditions normales de 20 l/s de deutérium sous une pression différentielle de 1 bar. Nous n'avons pas procédé à une vérification expérimentale de cette grandeur.

6. La régulation du niveau de liquide dans l'appendice

Le rôle essentiel de cet organe est de simplifier la surveillance de l'installation pendant son fonctionnement. Il permet d'abord d'éviter que la température du deutérium liquide n'atteigne celle du point triple, et n'entraîne un bouchage du circuit de liquéfaction. Il permet également de maintenir le niveau du liquide à la valeur désirée.

Afin de faire une lecture directe du volume de liquide produit par simple observation du manomètre placé sur le container, nous avons calculé les valeurs que devaient prendre les différents paramètres thermodynamiques du gaz. On a ainsi fixé à 22°K la température du deutérium liquide dont la masse volumique est alors de 166 g/l. Avec un manomètre gradué en mbar, on a ainsi établi qu'une chute de pression de 1 mbar entraînait la production de 1 cm³ de liquide, ce qui facilitait la lecture des courbes de liquéfaction analogues à celle de la figure 5.

La régulation du niveau est assurée par l'intermédiaire d'un manomètre qui capte la pression du gaz. Le signal qu'il transmet est envoyé à un système de commande qui fournit une puissance de 90 W sur une résistance de 40 Ω fournie par le constructeur du reliquéfacteur, et fixée sur sa tête réfrigérante. Cette régulation nous permet donc de maintenir la pression du gaz à la valeur de 0,6 bar pendant toute la durée d'une expérience.

quelques heures d'arrêt. En effet, le liquide avait été entièrement récupéré, mais toutes les masses métalliques étaient restées à basse température. Les courbes d'évolution de la pression nous ont alors confirmé que le reliquéfacteur liquéfiait le gaz avec une puissance cryogénique de 280 W. C'est pendant cette phase de liquéfaction que se formaient des bouchons de deutérium solide.

Pendant toute la durée de l'expérience de physique effectuée avec cette installation, plusieurs dispositifs de sécurité ont été couplés à l'ordinateur VARIAN 620/i effectuant l'acquisition des données physiques. En particulier, les circuits de sécurité de l'installation de liquéfaction ont été reliés à l'ordinateur pour que celui-ci, en cas de panne ou de défaillance pouvant entraîner une réévaporation du deutérium, arrête l'acquisition des données et déclenche une alarme. La figure 7 montre l'ensemble de l'expérience comprenant l'installation de liquéfaction, l'électro-aimant, les chambres à fils et l'électronique associée, et l'ordinateur.

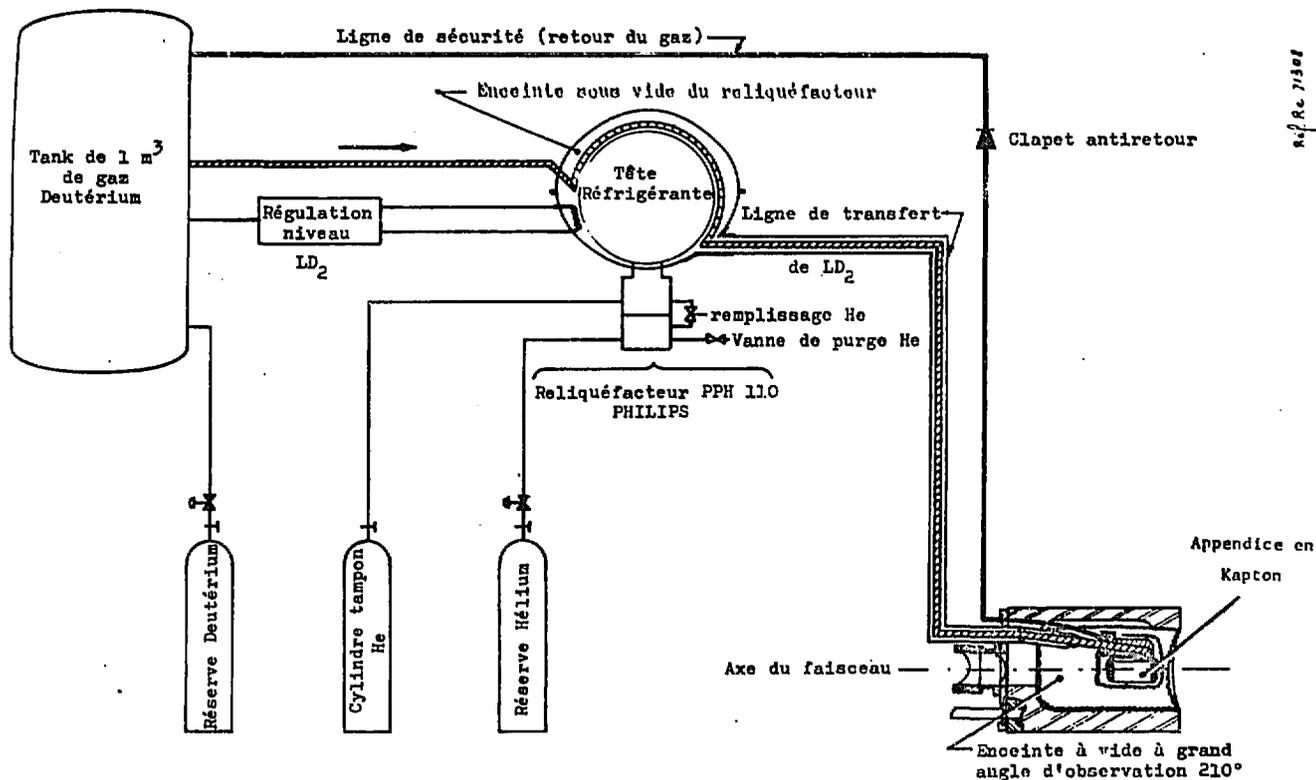
V. CONCLUSION

Cette installation, après une certaine d'heures de mises au point, a fonctionné sans défaillance pendant plus de 1600 heures (dont 1200 en présence du faisceau). Les consommations en deutérium, hélium et huile sont restées excessivement faibles par rapport à celles que nécessitent les cibles à cryostat d'hydrogène liquide, contenant environ 500 fois plus de liquide que dans celle-ci.

Enfin, la possibilité d'automatiser entièrement les opérations de liquéfaction et de récupération du deutérium et de faire surveiller l'ensemble par un ordinateur, constitue un progrès appréciable et un avantage certain par rapport aux cibles traditionnelles.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Monsieur A. MARTIN et son équipe qui ont construit les différents éléments de la cible et de son enceinte, Monsieur D. FRANCOIS qui a réalisé l'emboutissage, le collage et les tests de l'appendice, et Monsieur R. PORTIER qui a effectué le montage et assuré la maintenance de l'installation complète.

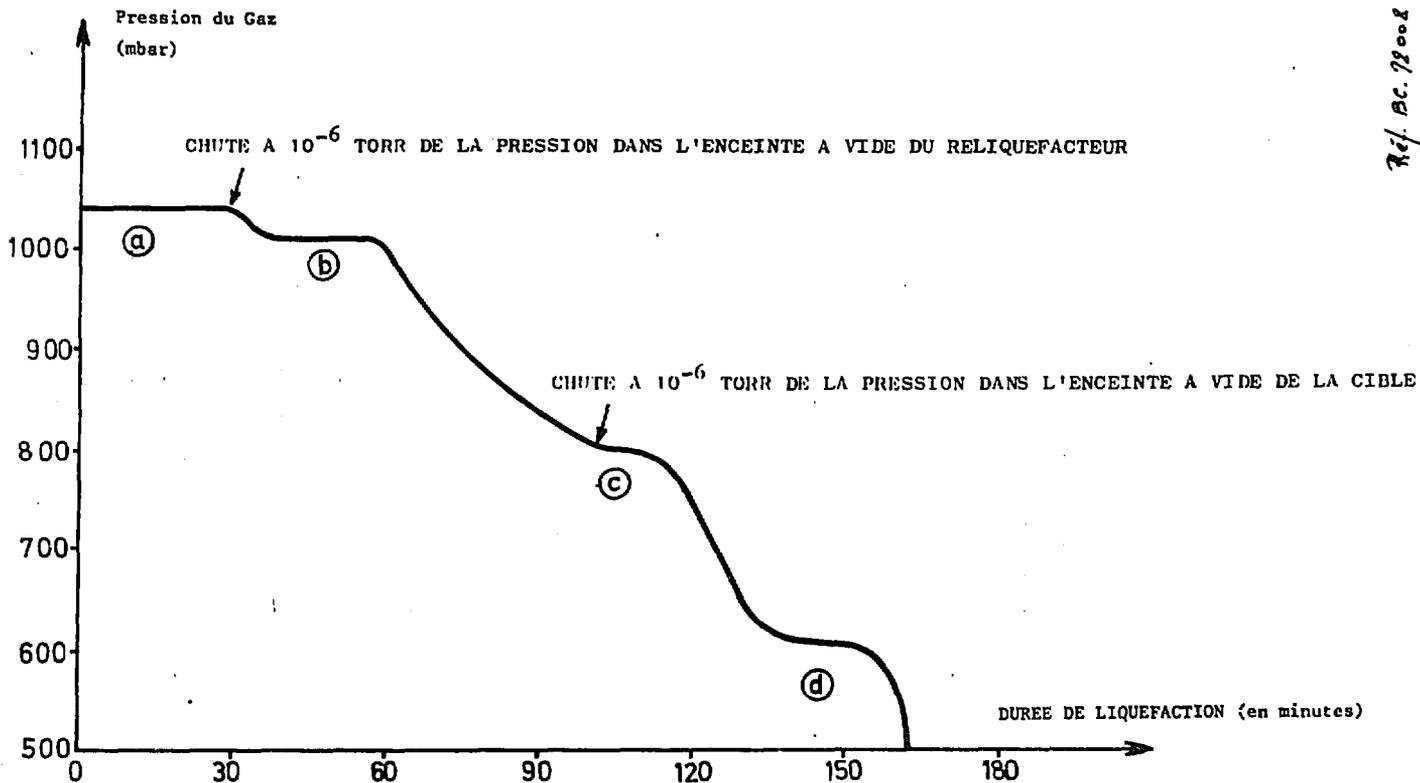


Ref. No. 71502

SCHEMA DE PRINCIPE DE L'INSTALLATION DE RELIQUÉFACTION DU DEUTERIUM
DE L'EXPERIENCE: $\gamma d \rightarrow pp^0^-$

Figure 1

Ref. B.C. 72002



EVOLUTION DE LA PRESSION ABSOLUE DE L'HYDROGENE GAZEUX AU COURS D'UNE LIQUEFACTION

Figure 2

Figure 2

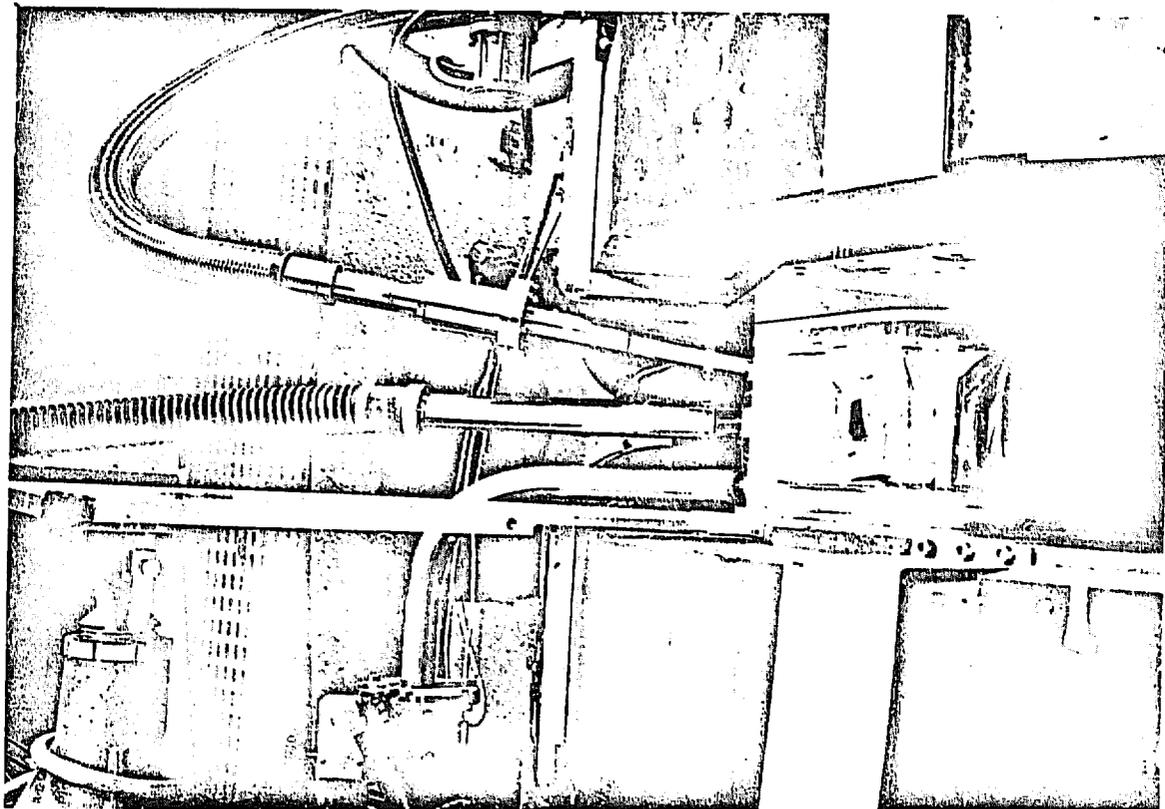


FIGURE 3 : L'ENCEINTE A VIDE EN POSITION DANS L'AIMANT.

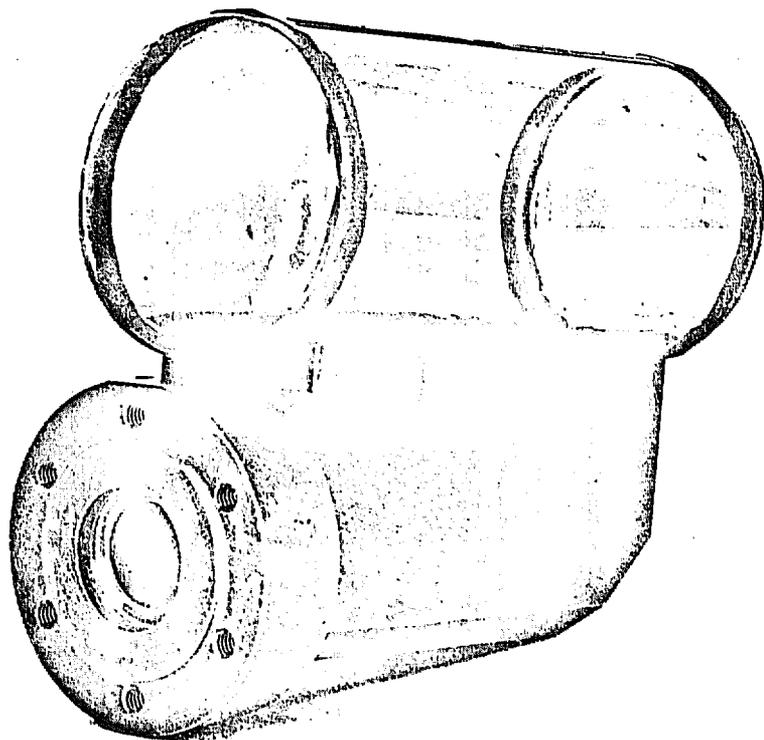
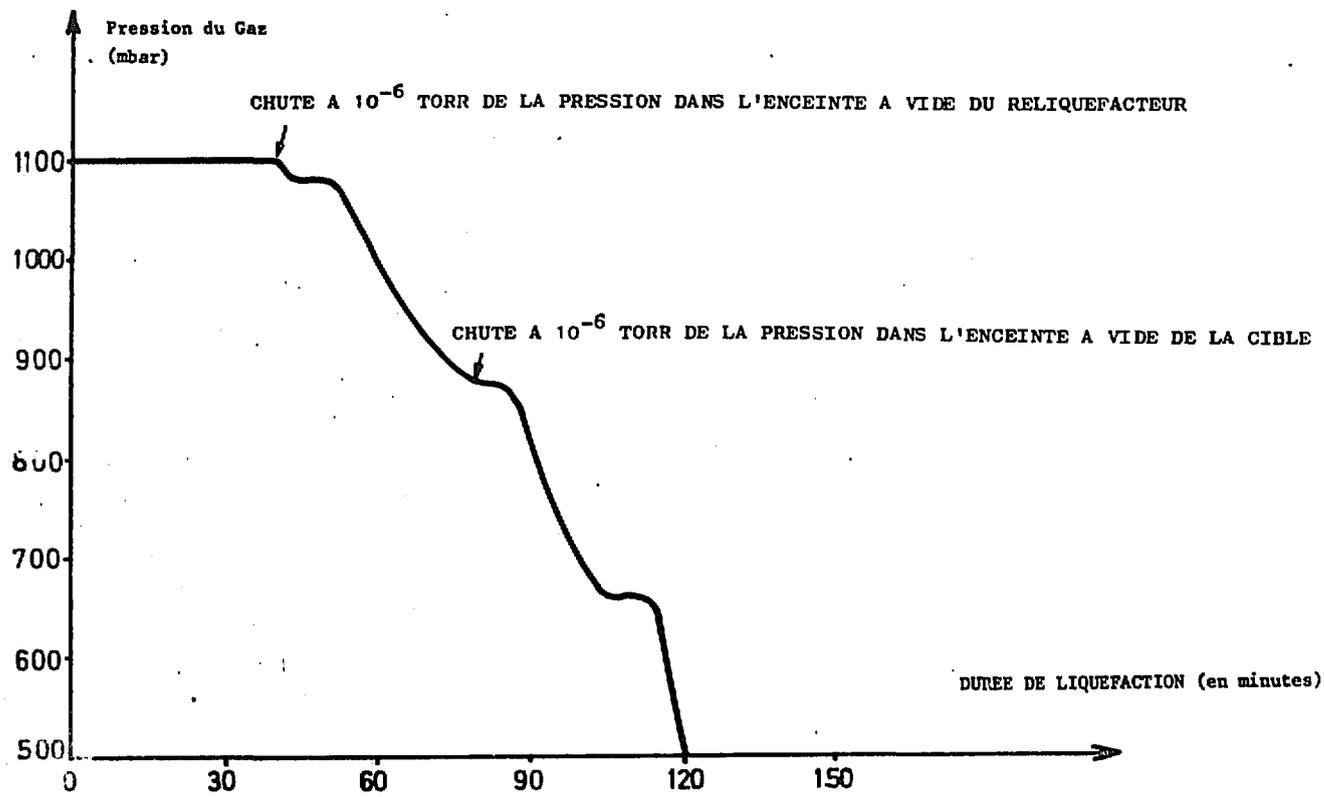


FIGURE 4 : L'APPENDICE EN KAPTON ET SON SUPPORT.

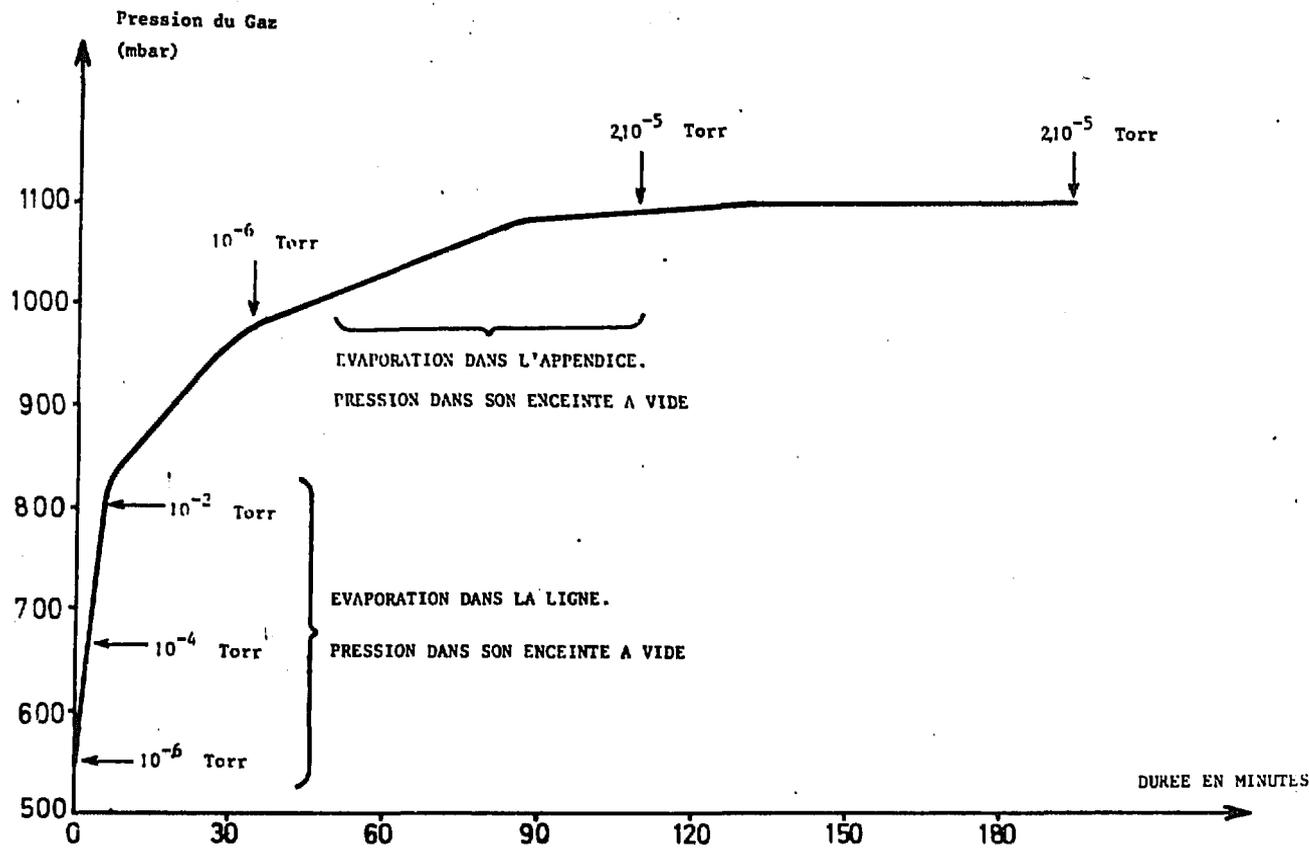
Ref. AC. 72050



EVOLUTION DE LA PRESSION ABSOLUE DU DEUTERIUM GAZEUX AU COURS D'UNE LIQUEFACTION

Figure 5

Ref. Ac. 98 009



EVOLUTION DE LA PRESSION ABSOLUE DU DEUTERIUM GAZEUX APRES L'ARRET DU RELIQUEFACTEUR

Figure 6

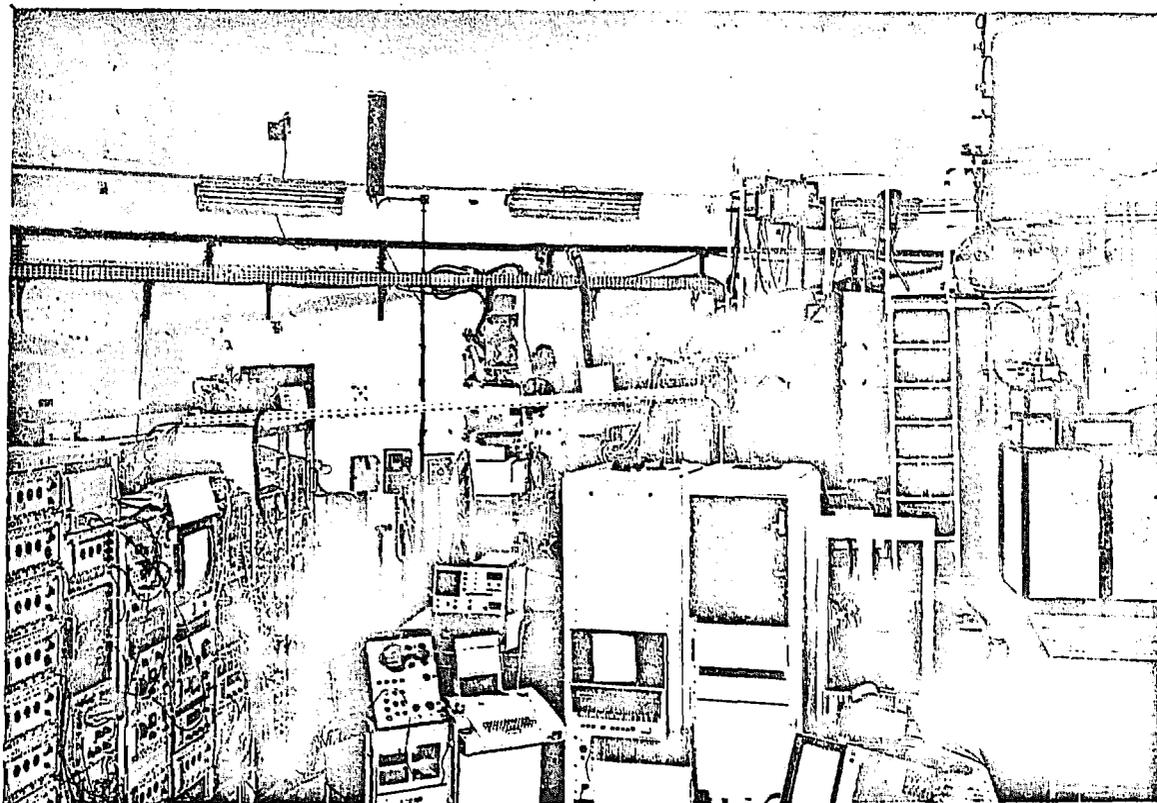


FIGURE 7 : VUE GENERALE DE L'EXPERIENCE. EN HAUT A DROITE, LE TANK
DE RECUPERATION DU DEUTERIUM.