

ROGOZINSKI A.

Rapport C.E.A. n° 607

Sur une chambre à bulles expérimentale à propane.

Resume.— Description d'une chambre à bulles à propane de 10 cm de diamètre et de 5 cm de profondeur. La chambre, dont le corps est en acier inoxydable, est munie de deux fenêtres en verre poli et trempé. La compression et la détente du propane sont effectuées, soit à l'aide d'un piston en contact direct avec le liquide, soit en faisant agir sur ce dernier un gaz comprimé à travers une triple membrane de téflon-nylon-pertunan.

On décrit les conditions générales, ainsi que les conditions optimales de fonctionnement de la chambre et l'on signale un certain nombre de résultats obtenus concernant, notamment, les essais de résistance à la rupture des fenêtres et les mesures de dilatation thermique de compressibilité isotherme du propane utilisé.

1957

25 pages

ROGOZINSKI A.

Rapport C.E.A. n° 607

An experimental propane bubble chamber

Summary.— Describes a propane bubble chamber 10 cm in diameter and 5 cm deep. The body of the chamber is in stainless steel, and it has two windows of polished hardened glass. The compression and decompression of the propane are performed either through a piston in direct contact with the liquid, or by the action on the liquid, through a triple teflon-nylon-pertunan membrane, of a compressed gas.

The general and also optimum working conditions of the chamber are described, and a few results are given concerning, in particular, the tests of the breakage-resistance of the windows and the measurements of the thermal expansion of the compressibility isotherm

- RAPPORT C.E.A. N° 607 -

Service de Physique nucléaire
Laboratoire des Hautes Energies

SUR UNE CHAMBRE A BULLES EXPERIMENTALE A PROPANE

par

A. ROGOZINSKI

R.56.1041/BP/OB

SUR UNE CHAMBRE A BULLES EXPERIMENTALE A PROPANE

A. INTRODUCTION

1 - L'exploitation future du Saturne, le synchrotron à protons de 2,5 GeV en construction à Saclay, pose dès à présent aux physiciens intéressés un certain nombre de problèmes de techniques expérimentales dont certaines, toutes récentes, n'ont encore jamais été mises au point en France.

Parmi ces techniques figure celle des chambres à bulles dont le principe avait été découvert en 1952-1953 par un jeune physicien américain D. GLASER [1] et qui s'était révélée comme un outil de recherche particulièrement puissant dans le domaine des particules de grande énergie.

2 - Une chambre à bulles est une enceinte remplie d'un liquide surchauffé dont l'ébullition est provoquée par une particule ionisante qui la traverse. Son principe de fonctionnement est, en gros, le suivant : on porte un liquide, tel qu'un hydrocarbure saturé ou un gaz liquéfié, à une température voisine de sa température critique et, pour l'empêcher d'entrer en ébullition, on le soumet en même temps à une pression extérieure supérieure à la tension de vapeur correspondant à cette température. En décompressant brusquement le liquide, on le fait passer dans un état hautement instable, ce qui a, en général, pour effet de le mettre en violente ébullition, jusqu'au moment où la vapeur ainsi libérée devient saturante.

On constate, cependant, que, si le récipient contenant le liquide est très propre, bien dégazé et dépourvu d'aspérités, le liquide surchauffé peut demeurer parfaitement calme pendant de longues périodes d'attente. Mais il suffit d'introduire alors dans son sein un germe d'ébullition, tel que, par exemple, une petite bulle gazeuse, pour que l'ébullition s'amorce aussitôt d'une façon explosive. M. GLASER avait démontré que la période d'attente était considérablement abrégée, si le liquide surchauffé était mis en présence d'une source radioactive et que, par conséquent, les ions ainsi émis au sein du liquide devaient jouer le rôle de germes d'ébullition.

Si l'on éclaire le liquide surchauffé un temps très bref après le passage de la particule ionisante, on y voit apparaître un chapelet de bulles de vapeur, jalonnant la trajectoire de la particule avec une grande finesse. Lorsque la chambre se trouve dans un champ magnétique approprié, le chapelet de bulles forme des cercles ou des spirales, tout comme les particules ionisantes traversant une chambre de WILSON placée dans un champ magnétique.

La chambre à bulles permet non seulement de rendre visibles les trajectoires des particules ionisantes traversant différents liquides, mais aussi de situer dans le temps les événements étudiés. Elle réunit donc en quelque sorte les avantages et les qualités des émulsions photographiques et des chambres de WILSON et à diffusion, tout en jouissant d'un certain nombre de propriétés que les autres détecteurs ne possèdent pas. Mais par ses conditions d'emploi elle s'apparente surtout à la chambre de WILSON à laquelle il convient de la comparer.

Les liquides utilisables peuvent aller de l'hydrogène liquide au xénon liquide, en passant par des liquides tels que les hydrocarbures saturés : éthane, propane, pentane, etc... Une chambre à bulles à hydrogène liquide présente cependant un intérêt tout particulier, car elle permet d'étudier les interactions entre différentes particules et un milieu de protons purs.

Par rapport à la chambre de WILSON, la chambre à bulles possède plusieurs avantages importants :

1° elle offre un milieu dense, où le nombre de noyaux par cm^3 est plusieurs centaines de fois plus élevé que dans une chambre de WILSON à pression ordinaire.

2° elle rend possible l'emploi de l'hydrogène liquide, donc d'un milieu dense de protons purs.

3° elle donne une distorsion réduite des trajectoires par suite de la croissance très rapide des bulles, ce qui permet de les photographier très peu de temps après le passage de la particule ionisante, période pendant laquelle le liquide demeure pratiquement immobile.

4° elle permet de réaliser un taux de répétition beaucoup plus élevé que pour une chambre de WILSON.

Ces considérations jouent un rôle particulièrement important lorsque les recherches sont effectuées à l'aide d'un grand accélérateur dont les frais d'exploitation sont généralement très élevés et pour lesquelles le problème du rendement ne peut être ignoré ou sous-estimé.

La chambre à bulles n'est cependant pas exempte d'un certain nombre d'inconvénients : elle implique une technique difficile et coûteuse, surtout dans le cas des chambres de grandes dimensions et, tout particulièrement, des chambres à hydrogène liquide. D'autre part, son déclenchement ne peut être commandé par les particules étudiées ; mais cet inconvénient n'est pas gênant dans les cas où la source des

particules est un accélérateur qui procure un faisceau de particules à des instants bien déterminés que l'on peut faire coïncider aisément avec la période de sensibilité de la chambre.

3 - Le mécanisme exact du fonctionnement d'une chambre à bulles est encore obscur. Les théories possibles de la formation des bulles le long du trajet d'une particule ionisante sont basées soit sur l'effet thermique de celle-ci, soit sur l'effet des charges électriques créées sur son passage. Les deux sont probablement valables, bien que la première soit plus plausible que la seconde. Nous reviendrons sur ce problème dans un travail ultérieur.

Rappelons seulement qu'une bulle de vapeur au sein d'un liquide est soumise simultanément à plusieurs pressions: les unes tendant à la faire éclater, les autres à l'effondrer. Parmi les premières se trouve la tension de vapeur qui règne dans la bulle, parmi les secondes la pression hydrostatique et surtout la tension superficielle. Toutefois, à l'état dynamique, les échanges de chaleur qui ont lieu entre la vapeur contenue dans la bulle et le liquide qui l'entoure, ralentissent quelque peu la vitesse de croissance ou d'effondrement de la bulle.

La pression $\frac{2\sigma}{r}$ exercée par la tension superficielle σ étant inversement proportionnelle au rayon r de la bulle, il est évident qu'il existe un rayon critique r_c tel que, pour $r < r_c$, l'effet de la tension superficielle l'emporte sur les forces d'éclatement: la bulle diminue et finit par s'effondrer; au contraire, pour $r > r_c$, la bulle croît et finit par éclater ou par se fragmenter. C'est ainsi que dans un liquide modérément surchauffé et exempt de germes d'ébullition un grand nombre de bulles de vapeur de dimensions sub-critiques naissent et s'effondrent continuellement. Très peu de bulles parviennent à franchir le seuil critique. Lorsqu'on augmente la température du liquide la valeur de σ diminue et un nombre croissant de bulles ayant un rayon supérieur à r_c apparaît et augmente ainsi la probabilité d'ébullition spontanée du liquide surchauffé.

Les valeurs de r_c , pour du propane maintenu dans des conditions où il est utilisable comme détecteur de rayonnements ionisants, sont de l'ordre de 10^{-6} cm.

Considérons à présent une particule relativiste se propageant dans le même liquide. Elle y libère quelque 40 000 paires d'ions par cm de parcours, ce qui correspond à une perte d'énergie de l'ordre de 1 MeV. Ces charges apparaissent, en majorité, sous forme de paires d'ions isolées, relativement très espacées, mais une fraction se trouve groupée le long de rayons δ , qui comprennent, chacun, un petit nombre de paires d'ions. La densité moyenne d'ionisation des rayons δ est, en général, beaucoup plus élevée que celle qui correspond aux paires isolées de la trajectoire. Un rayon δ dissipe ainsi une quantité d'énergie relativement élevée dans un très petit volume de liquide, en y produisant un échauffement local intense, accompagné de l'évaporation d'un certain nombre de molécules du liquide. La bulle

créée dans ces conditions peut dépasser le seuil critique, sa croissance étant, par ailleurs, favorisée par l'effet de la pression électrostatique des charges qui se fixent vraisemblablement sur la surface de la bulle. Enfin, en leur apportant un complément d'énergie, les rayons δ provoquent, d'autre part, la croissance d'un certain nombre de bulles sub-critiques qui, autrement, seraient vouées à la disparition.

4 - En raison de l'énergie élevée des particules étudiées, ainsi que des grands libres parcours moyens impliqués dans les interactions entre ces particules et différents noyaux, l'emploi d'une chambre à bulles de grandes dimensions présente un intérêt certain. Mais comme la construction d'une telle chambre se heurte à des difficultés techniques considérables, nous avons jugé utile d'essayer d'abord une chambre expérimentale de dimensions relativement réduites. Cette chambre nous a permis, en effet, d'étudier de près le comportement général d'un tel dispositif et de déterminer, en particulier, diverses constantes thermodynamiques, telles que la compressibilité isotherme et la dilatation thermique, du liquide utilisé (propane) dont la température normale de fonctionnement est, rappelons-le, peu éloignée de sa température critique.

Pendant que nous procédions aux premiers essais de la chambre expérimentale, nous avons entrepris l'étude d'une grande chambre à propane de forme parallélépipédique dont le volume sensible sera de 40 cm x 20 cm x 20 cm. Cette chambre est actuellement en construction.

B. DESCRIPTION DE LA CHAMBRE EXPERIMENTALE

Cette chambre se compose essentiellement d'une enceinte cylindrique (A) formant la chambre à bulles proprement dite, d'un organe de commande (C) et d'un col cylindrique (B), réunissant (A) et (C) (voir fig. 1).

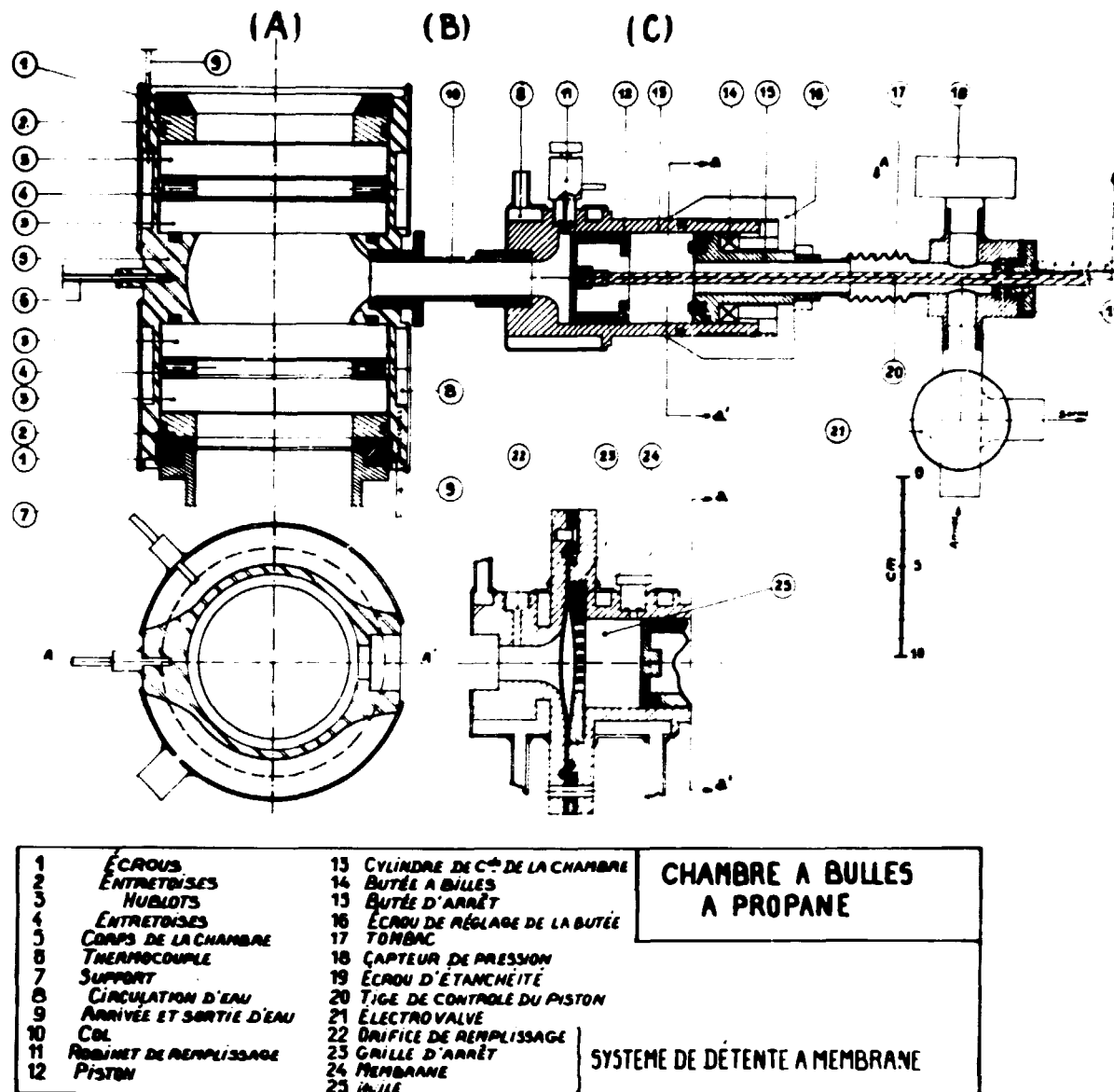
Le corps cylindrique (A) est en acier inoxydable poli intérieurement¹⁾. Son diamètre intérieur est de 10 cm et sa profondeur de 5 cm. L'épaisseur de la paroi est de 4 mm, sauf dans la partie renforcée, destinée à recevoir un couple thermoélectrique pour la mesure de la température de la chambre.

La chambre est munie de 2 fenêtres en verre poli et trempé de 16 mm d'épaisseur (3), l'étanchéité étant assurée par des joints toriques placés dans des logements appropriés pratiqués dans la section droite de (A). Le serrage des hublots se fait à l'aide de grands écrous évidés en laiton (1). Afin d'étudier l'influence du refroidissement des fenêtres par leurs faces extérieures, chacune d'elles peut être doublée d'une autre, le vide pouvant être fait dans l'espace compris entre

1) La surface intérieure de la chambre est, en réalité, sphérique, pour que la ligne de son raccordement avec le col (B) soit une courbe de second degré; la région de raccordement peut ainsi être arrondie et polie à l'aide d'un tour.

une paire. Il ne semble d'ailleurs pas que la présence de la fenêtre supplémentaire joue un rôle appréciable dans le fonctionnement de la chambre.

Une chemise en acier inoxydable de 1 mm d'épaisseur entourant la chambre permet de faire circuler, dans la double paroi ainsi formée, de l'eau provenant d'un thermostat. On peut maintenir, de cette façon, la température de fonctionnement de la chambre à 0,1 °C près.



- Fig. 1 -

Schéma de structure de la chambre

Le col (B) et le corps (C) sont eux aussi pourvus d'une double paroi et peuvent être maintenus à la même température que (A).

Lorsqu'on se propose de faire fonctionner la chambre dans un champ magnétique, on a tout intérêt de réduire au minimum le diamètre extérieur de celle-ci, de dégager la surface extérieure de la chambre et de n'encombrer qu'une zone équatoriale aussi réduite que possible, afin que les bobines génératrices du champ magnétique puissent être suffisamment rapprochées pour assurer un champ homogène à travers le volume sensible de la chambre.

Pour cette raison, les parties saillantes, telles que les ajutages de la circulation d'eau et du vide, ont été reportés vers les sections droites de (A). D'autre part, comme l'organe (C) a un diamètre relativement gros, on l'a éloigné du corps (A), au delà du diamètre extérieur des bobines, ce qui a conduit à donner au col (B) une longueur relativement grande, bien que l'emploi d'un col court soit, en principe, préférable. Pour étudier l'influence de ce dernier facteur, deux cols ont été prévus, l'un ayant une longueur de 20 cm, l'autre de 5 cm, leur diamètre intérieur étant de 2 cm.

L'organe de commande (C) qui assure la détente et la compression du liquide est constitué par un cylindre en acier inoxydable poli, dans lequel coulisse un piston (12) muni de deux joints toriques qui en assurent une parfaite étanchéité. Le piston est actionné lui-même par de l'azote ou de l'air comprimé dont l'admission et l'évacuation sont commandées par une électro-valve à 3 voies (21). Cette dernière est du même type (Barksdale n° 103 863) que celle utilisée par J. STEINBERGER.

Le recul du piston est limité par une butée, réglable de l'extérieur pendant le fonctionnement de la chambre (14, 15, 16).

Deux systèmes de détente et de compression ont été essayés : dans l'un, le piston est en contact direct avec le liquide, dans l'autre, il en est séparé par une triple membrane de téflon-mylar-perbunan, préconisée par D. GLASER et collaborateurs.

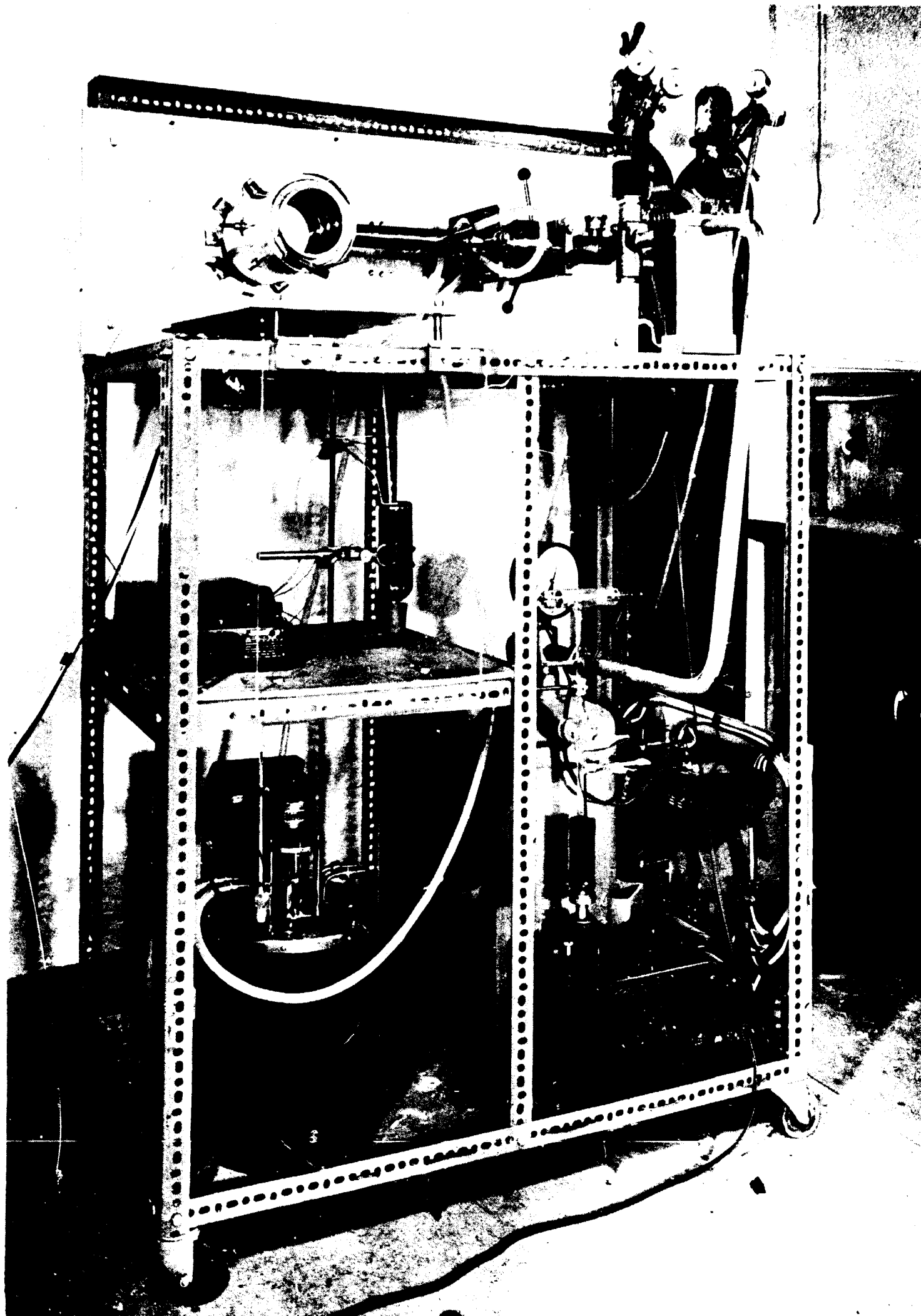
Dans le dernier cas, la pression est transmise à la membrane, soit directement par l'air comprimé, soit par un piston agissant sur celle-ci par l'intermédiaire d'une huile lubrifiante.

Une pompe auxiliaire à propane permet d'ajouter ou de soustraire à la chambre, d'une façon continue, de petites quantités de liquide.

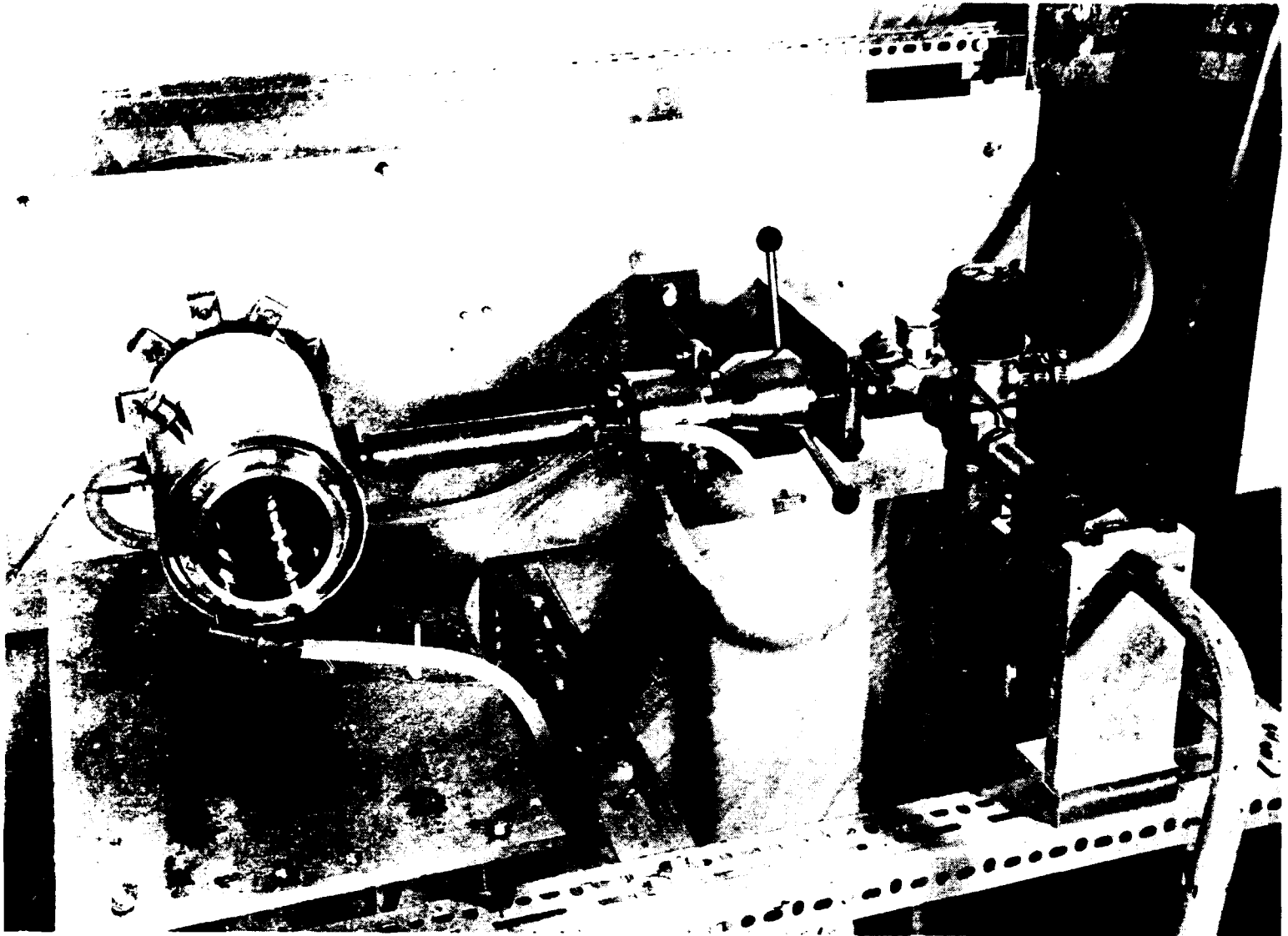
La figure 2 donne une vue d'ensemble du dispositif, tandis que les figures 3a et 3b représentent des vues plus détaillées de la chambre et des organes de détente.

C. REMPLISSAGE DE LA CHAMBRE

La chambre fonctionne avec du propane [C_3H_8 ; $T_{gb} = -42,17$ °C ; $T_{crit} = 95,6$ °C ; $p_{crit} = 43$ kg.cm⁻² ; densité (à T_{gb}) = 0,585 ; densité (à $T = 60$ °C et sous $p = 30$ kg.cm⁻²) = 0,435] , le choix de cet hydrocarbure saturé étant surtout motivé par le fait que la température de fonctionnement de la chambre se trouve alors aux environs de 60 °C et est aisément réalisable avec toute la précision nécessaire, à l'aide d'une circulation d'eau traversant un appareil thermostatique. Une température de cet ordre n'exerce, par ailleurs, qu'une influence très réduite sur les propriétés mécaniques des fenêtres en verre, qui constituent l'organe le plus vulnérable du dispositif et qui doivent déjà subir durant les détentes de la chambre des variations brutales de pression pouvant atteindre plusieurs dizaines d'atmosphères.

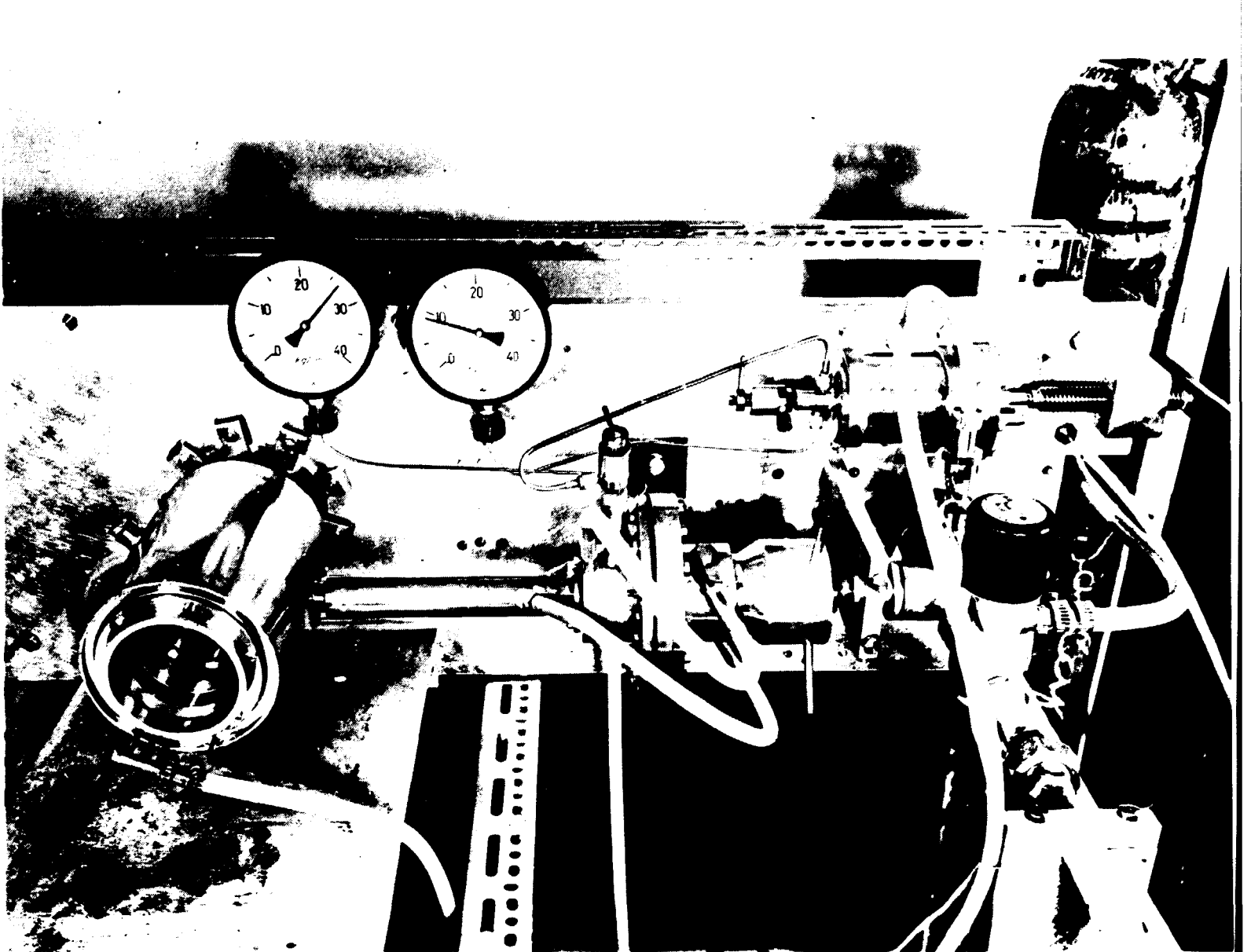


- Fig. 2 -



- Fig. 3-a -

Vue de la chambre avec son système de détente à piston

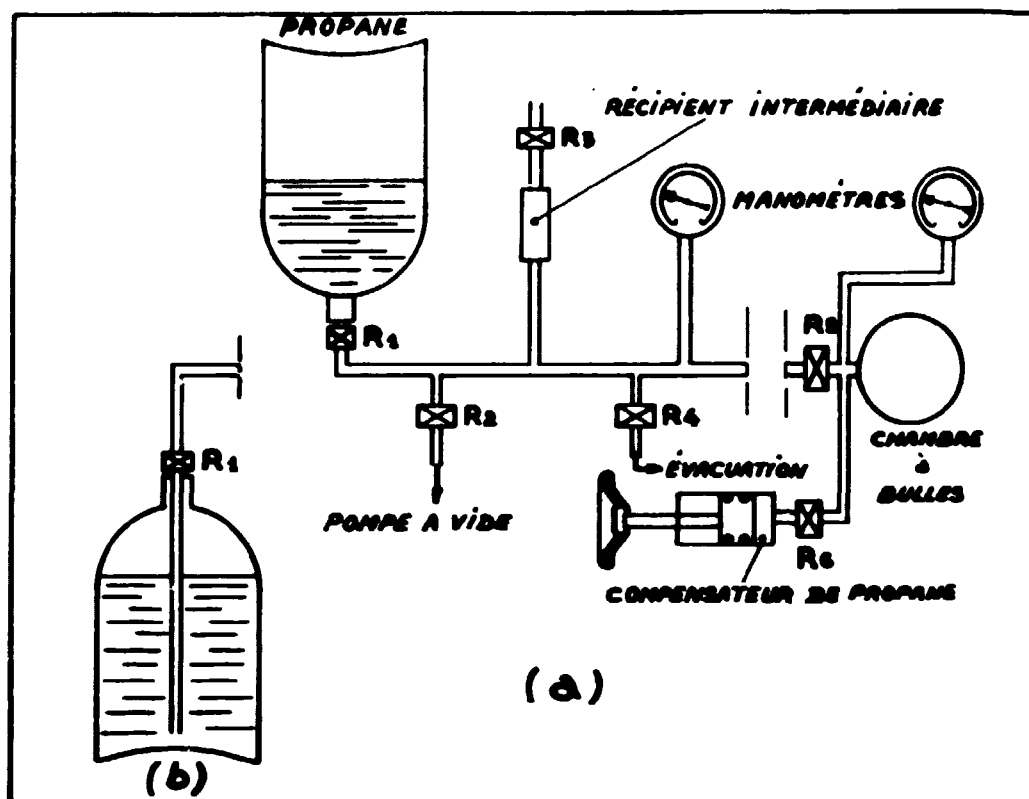


- Fig. 3-b -

Vue de la chambre avec son système de détente à membrane
et la pompe de compensation à propane

A la température ambiante, le propane demeure liquide sous une pression de 10 atm environ. Aussi, lorsqu'on procède au remplissage de la chambre, par exemple à la température de 20 °C, cette opération doit-elle être effectuée sous une pression au moins égale à 8,5 atm. De plus, pour éliminer de la chambre toute trace de gaz résiduels, il convient d'y faire le vide au préalable.

Jusqu'ici nous n'avons utilisé que du propane commercial, qui contient d'ailleurs une proportion considérable de diverses impuretés, telles que le propylène et l'éthane, mais dont la présence ne semble pas exercer une influence sensible sur le fonctionnement de la chambre.



- Fig. 4 -

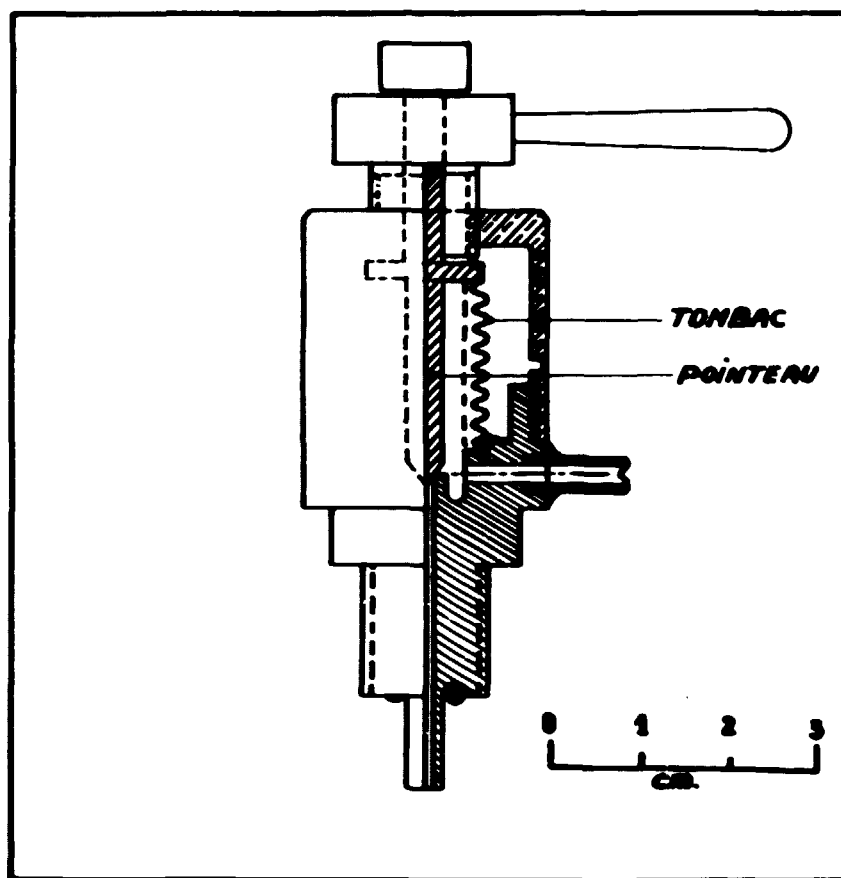
Dispositif de remplissage de la chambre

Lorsqu'on emploie les bouteilles de propane ordinaires du commerce, on peut se servir du dispositif simple de remplissage, schématisé par la figure 4(a).

Si la bouteille est propre et ne contient, en particulier, aucun dépôt, tel que de la rouille qui se détache peu à peu des parois, on peut la disposer avec son robinet en bas dont l'ouverture laisse alors passer directement du propane liquide. Dans le cas contraire, il arrive fréquemment que des parcelles solides viennent s'incruster dans le siège en téflon qui assure l'étanchéité du robinet. Dans ce cas, il est préférable de modifier le robinet, en le munissant d'un tube de cuivre allant jusqu'à environ 2 cm du fond de la bouteille et d'utiliser cette dernière dans la position normale (fig. 4(b)). Le remplissage de la bouteille ainsi modifiée se fait à peu près de la même façon que le remplissage de la chambre, opération dont voici quelques détails.

Après avoir fait le vide dans la canalisation, ainsi que dans la chambre, on remplit d'abord avec du propane liquide le récipient intermédiaire (fig. 4(a)) dont le volume est de 250 cm³ environ. Cette pièce sert à prélever sur le contenu de la bouteille une quantité limitée de propane et au besoin de la chauffer légèrement pour y accroître la pression, ce qui facilite le refoulement du liquide vers la chambre à bulles ; cette dernière peut, au contraire, être légèrement refroidie. Si nécessaire, on recommence le cycle d'opération. Toutes ces manipulations se font en manoeuvrant d'une façon évidente les différents robinets à membrane (P. PRUGNE et P. GARIN, Rapport C.E.A. n° 164) de la canalisation de remplissage. Un robinet à pointeau R₃, fixé à la partie supérieure du récipient intermédiaire, permet de purger le propane des gaz dissous.

Le robinet R₅ fixé sur la chambre et le robinet R₆ sont des robinets à pointeau et à tombac dont le fonctionnement s'était avéré très satisfaisant. Ils avaient été conçus spécialement pour la chambre et la figure 5 en donne le schéma.



- Fig. 5 -

Robinet à pointeau et à tombac pouvant supporter aussi bien le vide qu'une pression de plusieurs dizaines d'atmosphères.

D. ESSAIS DE PENETRES

L'un des problèmes les plus préoccupants dans la construction et dans l'emploi d'une chambre à bulles est celui de la protection contre la rupture du dispositif, qui, rappelons-le, est rempli d'un liquide sous pression et qui passerait,

en cas de rupture, dans un état hautement surchauffé et explosif. Le danger provient évidemment surtout des fenêtres en verre qui doivent supporter la pression et dont les propriétés mécaniques évoluent dans le temps d'une façon assez mal connue. Pour cette raison, il convient de prévoir pour elles des coefficients de sécurité élevés, en les soumettant pendant des périodes prolongées à des pressions de 4 à 5 fois la pression sous lesquelles elles fonctionnent normalement. Lorsque la surface libre de ces fenêtres ne dépasse pas 100 ou 200 cm², un verre trempé d'une vingtaine de millimètres d'épaisseur donnera, en général, des résultats satisfaisants après des essais appropriés.

Dans le cas des chambres de grandes dimensions, les épaisseurs des fenêtres peuvent devenir prohibitives et il faut bien se résoudre à utiliser des épaisseurs de verre présentant un coefficient de sécurité médiocre. On peut cependant parer au danger possible de deux manières différentes : d'abord, en réduisant le risque de la rupture d'une fenêtre ; ensuite, en cas de rupture, en confinant l'explosion qui l'accompagne à une enceinte capable de résister à un tel choc. On y parvient, en munissant chaque fenêtre d'un carter dans lequel on admet un gaz sous une pression égale à peu près à la moitié de la pression de fonctionnement du liquide et en donnant à sa paroi une épaisseur suffisante pour supporter éventuellement l'explosion du liquide. Les carters doivent naturellement être pourvus de petits hublots en verre pour les prises de vues, ainsi que pour la transmission de la lumière des flashes. C'est cette solution que nous avons d'ailleurs adoptée dans la construction de la grande chambre à propane.

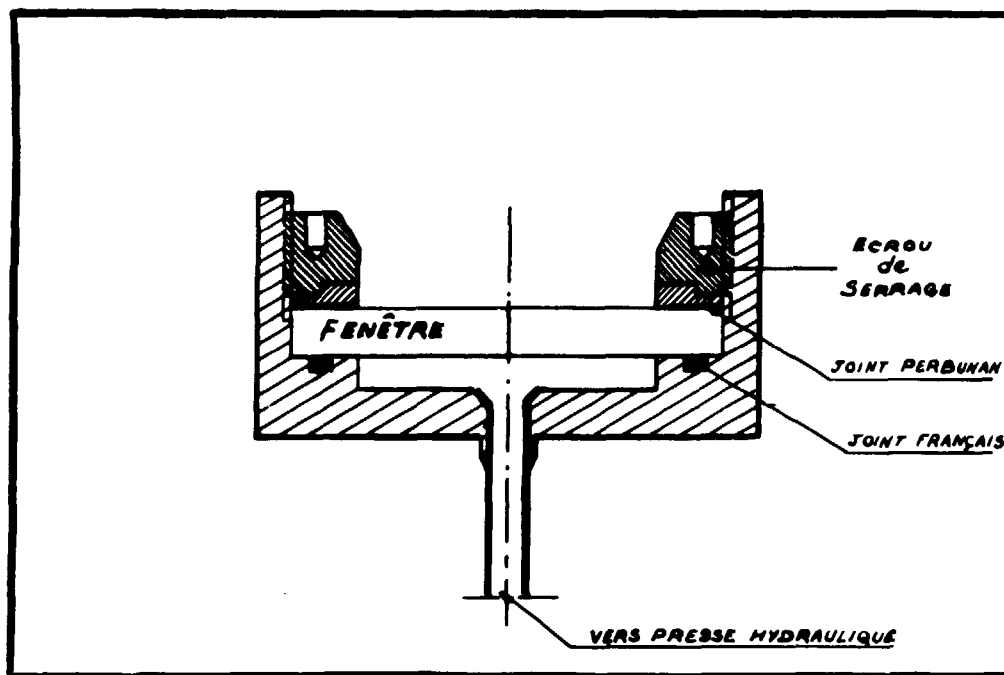
En résumé, les fenêtres destinées à des chambres à bulles à hydrocarbures doivent remplir les conditions suivantes :

- 1° résister à une pression de fonctionnement de 30 à 40 atm ;
- 2° supporter un cyclage brutal de décompression-recompression de 20 à 40 atm et avec une fréquence au moins de l'ordre de 1 par seconde ;
- 3° pouvoir être portées rapidement à une température pouvant atteindre 150 °C dans le cas de l'isopentane et de 65 °C dans le cas du propane ;
- 4° présenter des qualités optiques suffisantes pour permettre la photographie de trajectoires sans déformation.

Les fenêtres destinées à la chambre expérimentale sont en verre poli et trempé de 130 mm de diamètre et de 16 mm d'épaisseur. Avant d'être utilisées, elles ont fait l'objet d'essais à la résistance effectués à la température ambiante à l'aide d'une presse hydraulique. Pour ces essais les fenêtres ont été fixées dans un cadre analogue à celui qui les retient dans la chambre et dont la figure 6 donne le schéma.

Les essais consistaient à maintenir les fenêtres, en règle générale, sous une pression de 130 atm pendant 24 heures.

Sur 10 fenêtres essayées, 9 ont parfaitement résisté à cette épreuve. Une seule s'était brisée environ 1 heure après l'application de la pression. La figure 7 reproduit son aspect après la rupture.



- Fig. 6 -

Cadre d'essai de résistance à la pression des fenêtres en verre de la chambre.

En outre, une fenêtre avait été délibérément sacrifiée, en la maintenant d'abord pendant 1 heure sous chacune des pressions suivantes : 125, 150, 175 et 200 atm ; la rupture ne s'est produite que sous environ 240 atm.



- Fig. 7 -

Aspect d'une fenêtre de 130 mm de diamètre et de 16 mm d'épaisseur, après rupture survenue une heure après l'avoir soumise à une pression de 130 atmosphères.

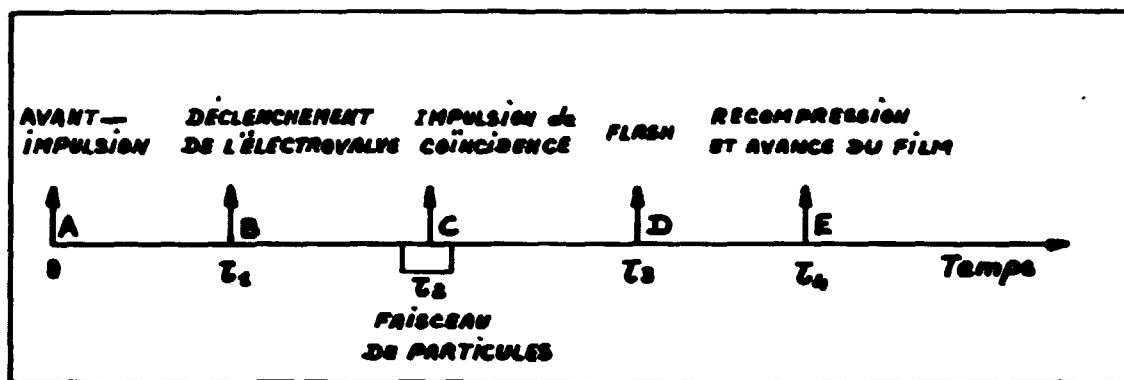
On peut noter enfin qu'une pression de 130 atm provoque au centre de la fenêtre une déformation de 0,1 mm.

E. COMMANDES ELECTRONIQUES

Les circuits électroniques desservant la chambre comprennent essentiellement les circuits de commande de l'électro-valve, du flash et des caméras, chacun d'eux étant déclenché par différents circuits de retard appropriés ; ils comprennent, en outre, des circuits de coïncidence associés à des télescopes de scintillateurs et dont les impulsions peuvent commander l'amorçage du flash.

Tout le dispositif électronique est actionné par une impulsion de départ, laquelle sera, par la suite, constituée par l'avant-impulsion même fournie par le tableau de commande du synchrotron quelque 20 ms avant le passage du faisceau de particules à travers la chambre.

L'ensemble des différents événements qui se succèdent durant un cycle de l'accélérateur est schématisé par la figure 8.



- Fig. 8 -

Succession des opérations au cours d'un cycle de fonctionnement de la chambre. Le point de départ du cycle est déterminé par l'avant-impulsion (A) envoyée par le tableau de commande de l'accélérateur τ_2 ms avant le passage du faisceau des particules à travers la chambre.

L'électro-valve est déclenchée par l'impulsion (B), avec un retard τ_1 tel que $\sim 15 \text{ ms} < (\tau_2 - \tau_1) < \sim 20 \text{ ms}$, c'est-à-dire tel que le faisceau de particules traverse la chambre durant sa période de sensibilité.

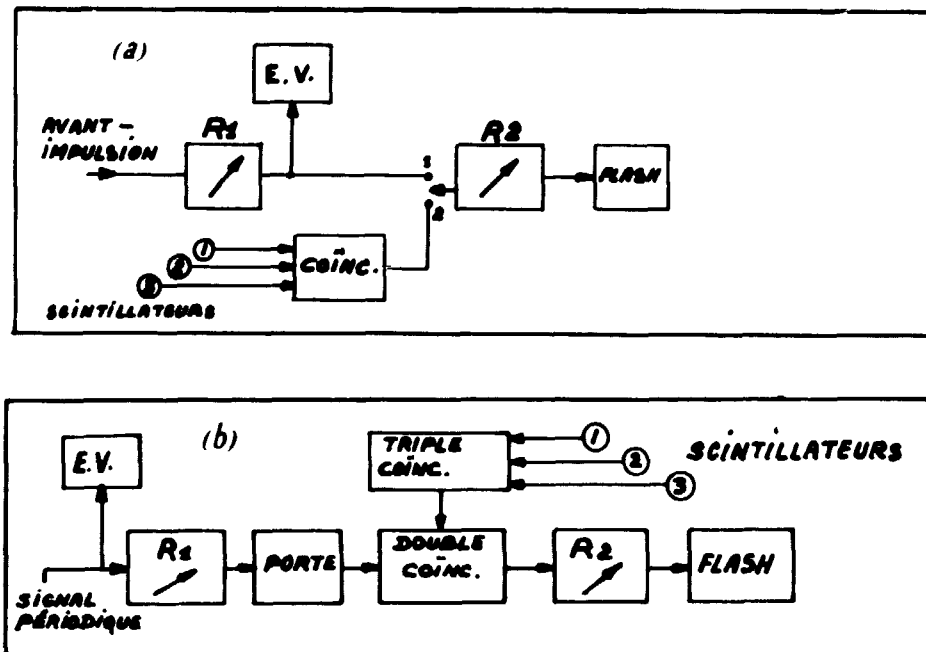
Le flash (D) peut être déclenché avec un retard τ_3 variable de 0 à 100 ms, soit par rapport à (B), soit par rapport à (C), ce qui permet d'étudier, en particulier, l'évolution des trajectoires et des bulles en fonction du temps.

La recompression (E) et, éventuellement, l'avance du film commencent environ 35 ms après le déclenchement du cycle (comp. fig. 13).

Les circuits de retard R_1 et R_2 (fig. 9a et 9b) permettent de faire varier de 0 à 20 ms le temps qui s'écoule entre (A) et (B) et de 0 à 100 ms le temps qui s'écoule entre (B) et (D) ou (C) et (D).

F. MESURES PRELIMINAIRES

Une grandeur importante qu'il est indispensable de connaître dans l'emploi d'une chambre à bulles est la variation de volume que subit le liquide remplissant la chambre sous l'effet de la température T à laquelle il est porté et de la pression p à laquelle il se trouve soumis. L'étude de ces effets revient à déterminer



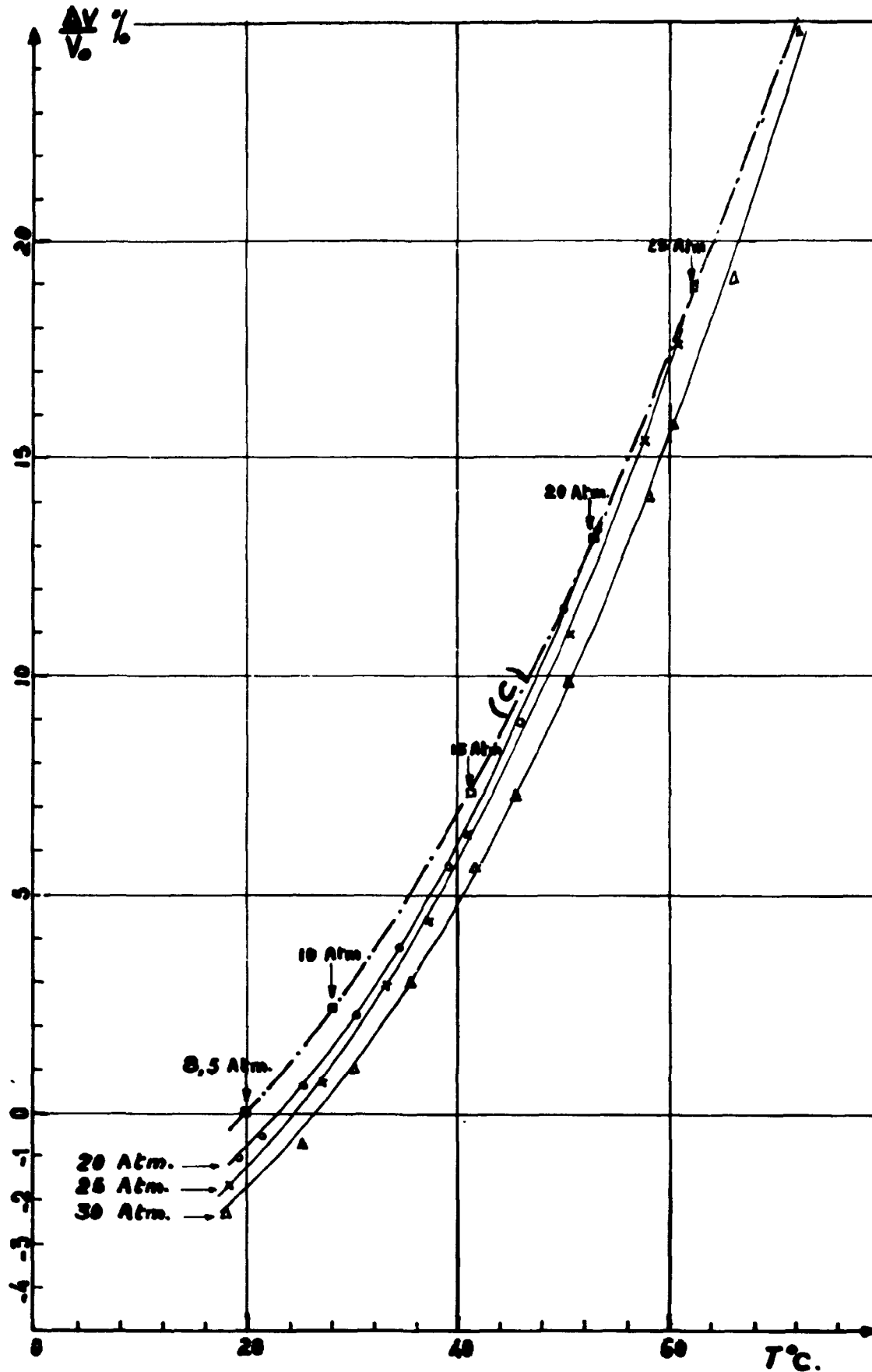
- Fig. 9 -

Schémas en blocs des circuits électroniques.

a) Schéma utilisé lorsqu'on fait fonctionner la chambre en présence d'un accélérateur ou d'une source radioactive. E.V. représente le circuit de l'électro-valve et R_1 , R_2 les circuits à retard variable.

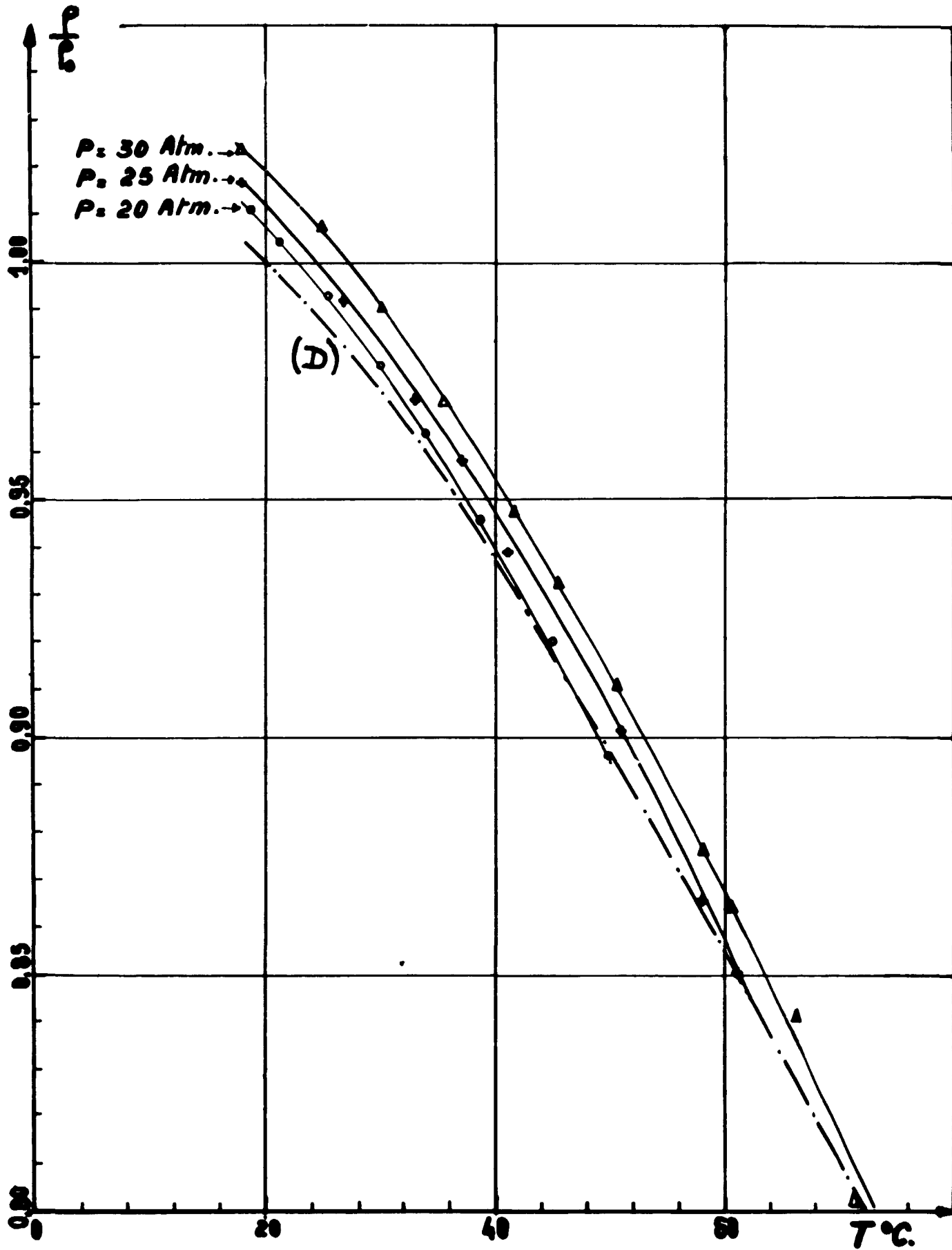
b) Schéma en vue de la détection du rayonnement cosmique à l'aide de la chambre à bulles ; celle-ci est alors déclenchée par un signal périodique et le flash n'est amorcé que si un rayon, détecté par le télescope de scintillateurs ou de compteurs G-M. encadrant la chambre, la traverse durant sa période de sensibilité, laquelle détermine la durée d'ouverture de la porte.

les courbes de dilatation thermique du liquide sous pression constante, d'une part, et de compressibilité isotherme, d'autre part. De telles courbes ont été obtenues, en mesurant le déplacement du piston en contact avec le propane, en fonction de T , pour des valeurs de p égales à 15, 20, 25 et 30 atm (fig. 10). La même figure donne également la courbe (C) de la variation du volume du liquide, en fonction de la température, lorsque le liquide est maintenu sous une pression toujours égale à sa tension de vapeur saturante. Cette courbe coupe chacune des premières courbes, qui correspondent à une pression déterminée, en un point dont l'abscisse est égale à la température d'ébullition du liquide maintenu sous cette pression. La pression varie naturellement d'un point à l'autre de la courbe (C).



- Fig. 10 -

Variation relative de volume $\Delta V/V_0$, en fonction de la température T , du propane maintenu sous des pressions constantes de 20, 25 et 30 atmosphères. La courbe (C) représente la variation relative de volume du propane maintenu sous pression d'équilibre avec sa vapeur. On a indiqué le long de la courbe un certain nombre de valeurs de cette pression pour différentes températures du propane. On a admis comme volume de référence V_0 , le volume occupé à la température de 20°C par le liquide soumis à la pression d'équilibre (8.5 ata) avec sa vapeur.



- Fig. 11 -

Densité relative ρ/ρ_0 , en fonction de la température T , du propane maintenu sous des pressions constantes de 20, 25 et 30 atmosphères. La courbe (D) représente la densité relative du propane maintenu sous la pression d'équilibre avec sa vapeur. On a admis comme densité de référence $\rho_0 = 0,50$, celle du liquide soumis à la pression d'équilibre avec sa vapeur à la température de 20°C .

Lorsqu'on amène le liquide, tel que le propane, de l'état de repos, où il se trouve à la température ambiante et sous sa tension de vapeur et où il occupe alors un volume V_0 , à l'état de fonctionnement, les deux effets décrits se retranchent généralement, le premier l'emportant sur le second. C'est ainsi que dans le cas du propane utilisé, nous avons trouvé, d'après les courbes de la figure 10, que le coefficient de dilatation thermique à pression constante

$$\delta = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

et le coefficient de compressibilité isotherme

$$\chi = - \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

étaient respectivement égaux, en moyenne, à

$$\delta = 5.10^{-3} \text{ par degré C, pour } 20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 65 \text{ }^\circ\text{C,}$$

et à

$$\chi = - 1.5.10^{-3} \text{ par atm, pour } 10 \text{ atm} \leq p \leq 30 \text{ atm.}$$

La variation relative totale de volume

$$\frac{\Delta V_{\text{tot.}}}{V_0} = \delta \Delta T - \chi \Delta p,$$

lorsqu'on passe de $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ et $p_0 = 10 \text{ atm}$ à $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ et $p = 30 \text{ atm}$, est ainsi égale approximativement à

$$(5.40 - 1,5.20) \cdot 10^{-3} = 17 \text{ pour cent.}$$

La chambre ne doit donc être remplie, à l'état de repos, à plus de 5/6 de sa capacité.

La variation relative de volume qui se produit durant le cycle de fonctionnement de la chambre (pendant laquelle la température demeure sensiblement constante) est égale à

$$\frac{|\Delta V|}{V_0} = \chi \Delta p \simeq 3 \text{ pour cent,}$$

si la pression passe de $p = 30 \text{ atm}$ à $p_{\text{min}} = 10 \text{ atm}$.

G. ESSAIS DE FONCTIONNEMENT DE LA CHAMBRE

On a fait fonctionner la chambre en présence de diverses sources de rayons γ , telles que $\sim 0,5 \text{ mC}$ de ^{60}Co et, filtré par 1 cm de plomb, environ 3 mC de MstH , en équilibre avec ses dérivés.

En outre, un certain nombre d'essais ont été effectués à l'aide du rayonnement X du béta-tron de Villejuif dont l'énergie maximum est de 22 MeV. On a pu

ainsi observer au sein de la chambre les trajectoires des électrons ayant des énergies supérieures à 10 MeV environ.

L'éclairement était pourvu par un tube à décharge rempli de krypton sous environ 8 atm. L'énergie d'un flash était de quelques joules seulement et sa durée n'excédait pas environ 2 μ s. Les prises de vues ont été faites sur fond clair, constitué par un verre dépoli interposé entre le tube à éclair et la chambre.

La caméra utilisée était une caméra stéréoscopique Verascope de chez J. RICHARD dont les objectifs étaient munis de bonnettes d'approche. La distance focale de cette caméra est de 40 mm et l'ouverture utilisée était de F/9.

On a obtenu les meilleurs résultats, tant en ce qui concerne la sensibilité d'émulsion que la finesse de grain, avec les films Kodak Rayoscope et Panatomic-X.

Au cours des essais, on a fait varier plusieurs paramètres : la température de fonctionnement T_f de la chambre, la pression de fonctionnement p_f et la pression finale p_{\min} . Pour chaque ensemble de valeurs de ces paramètres, on a fait varier, à l'aide du circuit électronique décrit, le retard τ du déclenchement du flash par rapport à l'avant-impulsion.

Ces essais ont permis de dégager les faits suivants : la chambre commence à être sensible aux radiations pour $T_f \gg 51^\circ\text{C}$ et montre un optimum de fonctionnement autour de 60°C . Cependant, on observe encore des trajectoires jusqu'à 72°C . Pour aucune température comprise entre ces limites nous n'avons observé l'apparition "d'écume", signalée par M. GLASER et ses collaborateurs. Les valeurs optima de p_f et de p_{\min} sont égales, respectivement, à 30 et à 12 atm environ.

La figure 12 reproduit un certain nombre de photos obtenues durant ces essais.

En ce qui concerne τ , il convient de préciser que ce retard comprend, en dehors du retard τ_1 (voir fig.8), réglé à 1 milliseconde, l'effet des trois retards suivants : le retard à l'ouverture effective de l'organe mobile de l'électro-valve, le retard résultant de la vitesse finie de l'évacuation de l'azote comprimé présent dans la chambre du piston et, enfin, le retard dû à l'inertie du piston et, surtout, à l'effet du frottement des joints toriques qui assurent l'étanchéité du piston.

En règle générale, on n'observe pas de trajectoires pour $\tau < \tau_{\min} = 14$ ms. Lorsqu'on augmente τ , le nombre des trajectoires croît à peu près proportionnellement à $\tau - \tau_{\min}$ jusqu'à une certaine valeur τ_{\max} . Au delà, le nombre des trajectoires demeure constant et le temps de sensibilité de la chambre, lequel peut être caractérisé par $\tau_{\max} - \tau_{\min}$, est ainsi trouvé ≈ 5 ms. Durant cette période, les trajectoires visibles sur chaque cliché sont d'autant plus fines qu'elles sont plus jeunes,

tandis que les plus vieilles commencent peu à peu à diffuser. Au delà de 25 ms environ, on n'observe pratiquement plus que des trajectoires dont les bulles ont grossi et diffusé au sein du liquide.

Des essais vont être effectués incessamment à l'aide d'une bille de ^{60}Co de 20 mC en chute libre, pendant laquelle elle interceptera un faisceau de lumière, avant de passer devant une fente fine pratiquée dans un bloc de plomb protégeant la chambre. La connaissance de la position et de la vitesse de la bille permettra de mesurer directement la durée de sensibilité de la chambre pour chaque régime de son fonctionnement.

Dans les conditions d'emploi de la chambre nous n'avons pas dépassé une fréquence de détentes de 1 toutes les 3 s. Nous espérons pouvoir augmenter considérablement cette fréquence, lorsque nous disposerons de caméras automatiques de prise de vues.

Nous avons vu que la valeur de τ_{\min} représente le temps qui s'écoule entre le déclenchement de l'avant-impulsion et l'instant où la pression p qui règne dans la chambre devient inférieure à la pression p_s , qui correspond au seuil de sensibilité de la chambre.

La pression dynamique qui règne dans la chambre durant la détente est, en principe, déterminée à chaque instant par la position du piston qui fixe le volume du liquide. Ceci est vrai aussi longtemps que le liquide n'entre pas en ébullition ou que l'ébullition n'est pas accompagnée d'une production appréciable de vapeur. Comme le montrent les clichés obtenus, c'est précisément ce qui se passe durant la période initiale, inférieure à τ_{\min} , où l'on constate l'absence totale de l'ébullition et durant quelques ms au delà, pendant lesquels n'apparaît qu'une très légère ébullition dans le voisinage des joints toriques.

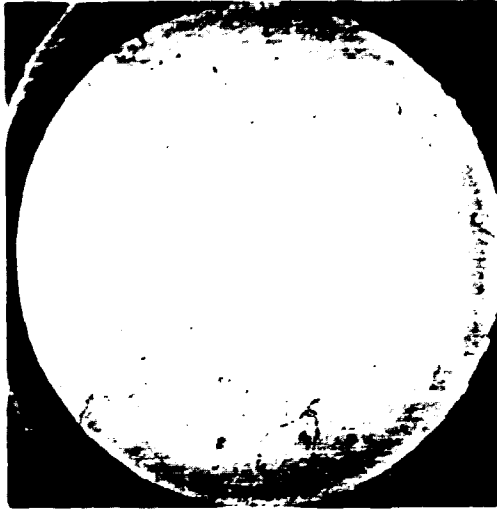
L'allure des différents retards en question a été étudiée à l'aide de deux dispositifs dont l'un, constitué par un capteur de pression à quartz piézoélectrique relié à une lampe électromètre, indiquait la pression instantanée de l'azote comprimant le piston. La position instantanée de celui-ci était donnée par l'autre dispositif, constitué par une bobine de self-induction faisant partie d'un circuit oscillant accordé sur une fréquence de 1 MHz, bobine à l'intérieur de laquelle pénètre un noyau ferromagnétique solidaire du piston. Le mouvement du piston a ainsi pour effet de provoquer dans l'amplitude des oscillations une modulation dont la profondeur peut être rendue proportionnelle au déplacement du piston. Cette méthode avait été proposée et mise au point par M. B. BUREAU durant un stage effectué au laboratoire. La figure 13 donne les traces oscillographiques séparées ou simultanées des grandeurs étudiées.

La variante à membrane de la chambre est en cours d'étude. Elle comprend,

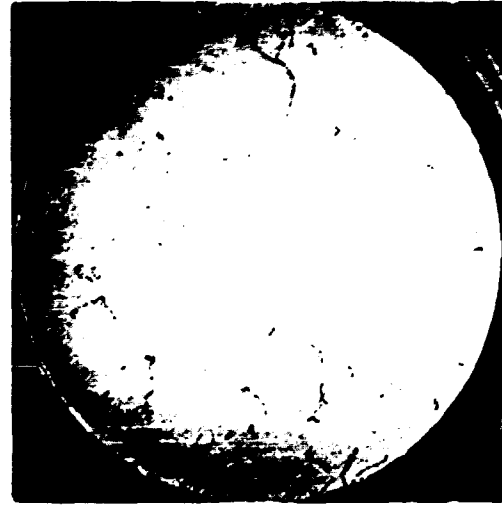
en outre, une pompe de compensation (fig. 3b) à propane permettant d'introduire dans la chambre, ou d'en soustraire, une quantité bien déterminée de liquide. Les premiers résultats obtenus montrent un fonctionnement satisfaisant de la chambre.

En terminant, je tiens à faire état ici de la participation active à ce travail de M. G. DUPUY, à qui l'on doit l'étude mécanique très soignée du dispositif, de M. B. PICHARD, qui a effectué tout le montage mécanique de la chambre, ainsi que la mise au point d'une partie des circuits électroniques et de M. J.P. BATON, qui a effectué la prise des photos, ainsi que les nombreuses mesures relatives aux constantes de dilatation et de compressibilité du propane utilisé.

Manuscrit reçu le 27 novembre 1956



A : 15 ms



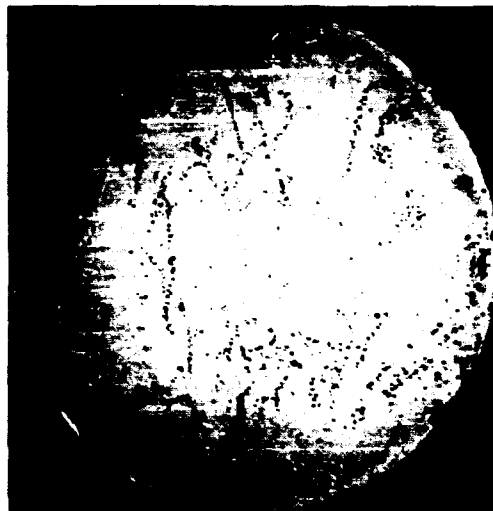
B : 16 ms



C : 18 ms



C' : 18 ms



D : 30 ms



E : 60 ms

- Fig. 12-a -

Trajectoires obtenues en présence d'une source de 3 mC de MsTh (A jusqu'à E).
Température du propane : 59 °C.
Les photos ont été prises avec un retard variable (indiqué au dessous de chacune d'elles) par rapport à l'impulsion de déclenchement de l'électro-valve.
C et C' représentent un couple de photos stéréoscopiques.



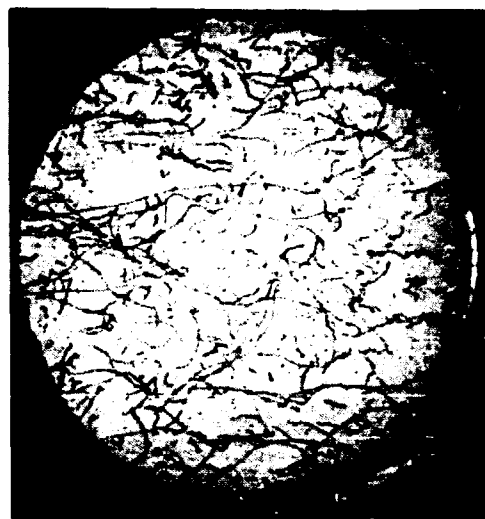
F : 21 ms



G : 21 ms



H : 21 ms



I : 21 ms

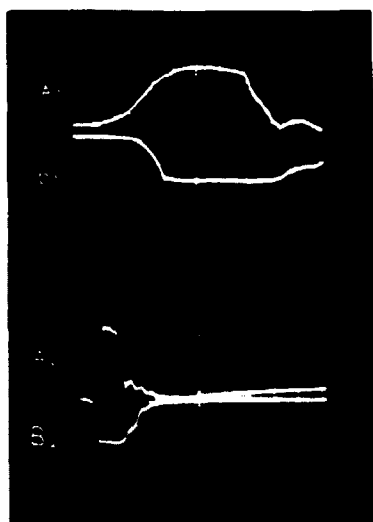
- Fig. 12-b -

Trajectoires obtenues en présence d'un rayonnement filtré d'un Bétatron de 22 MeV (F jusqu'à I).

Température du propane : 60 °C.

Retard de flash par rapport à l'impulsion de déclenchement de l'électro-valve : 21 ms.

La photo I avait été obtenue, en réduisant l'épaisseur de l'écran de Pb interposé entre le Bétatron et la chambre.



- Fig. 13 -

Les oscillogrammes A et B représentent, respectivement la chute de la pression exercée par l'azote sur le piston et le déplacement de celui-ci au cours d'un cycle de détente de la chambre.

L'échelle des abscisses est, par grande division, de 5 ms pour A₁ et B₁ et de 20 ms pour A₂ et B₂. Les amplitudes sont égales à 28 atm pour A₁ et A₂ et à 14 mm pour B₁ et B₂.

BIBLIOGRAPHIE

[1] GLASER D.A. - Phys. Rev., 1952, 87, 665, Nuovo Cimento, 1954, 11, Suppl. 2, 361

Voir aussi :

GLASER D.A. et RAHM D.C. - Phys. Rev., 1955, 27, 474.

RAHM D.C. - Bubble chambers for nuclear physics experiments. The University of Michigan, Department of Physics ; Ann Arbor, Michigan, February 1956.

LEITNER J., SAMIOS N., SCHWARTZ M. et STEINBERGER J. - Publication n° 10 de Nevis Cyclotron Laboratories, Columbia University, New York, N.Y., May 1955.

BLINOV G.A., KRESTNIKOV Yu S. et IOMANOV M.F. - Communication au Symposium du C.E.R.N. Juin 1956. Comptes rendus, vol. II, 25.

BASSI P., LORIA A., MEYER J.A., MITTNER P. et SCOTONI I. - Nuovo Cimento, 1956, 4, 491.

PLESS I.A., PLANO R.J. - Rev. Scient. Instr., 1956, 27, 935.

A cette liste, relative à des chambres à bulles à hydrocarbures, il convient d'ajouter une série de publications concernant les chambres à hydrogène liquide et émanant de l'Université de Berkeley et de l'Université de Chicago.

FIN