

CEA-R 2571 - LAVAUD Bernard, USCHANOFF Serge

ETUDE D'UN DISPOSITIF POUR LA MESURE DIRECTE DE LA PRESSION  
DES GAZ DE FISSION A L'INTERIEUR D'UN ELEMENT COMBUSTIBLE  
EN PILE

Sommaire. - La pression des gaz de fission à l'intérieur d'un élément combustible à combustible réfractaire constitue une des limitations importantes du taux de combustion. Si on peut approcher par calcul la détermination du volume des gaz dégagés hors du combustible au cours de sa vie, il est par contre très difficile d'évaluer la pression car le volume alloué aux gaz de fission et leur température sont très mal connus. Cette donnée essentielle pour le technologue ne peut être atteinte que par une mesure directe en pile de la pression.

Le rapport décrit l'appareillage qui a été mis au point pour cet essa:

1964

18 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

---

CEA-R 2571 - LAVAUD Bernard, USCHANOFF Serge

STUDY OF A DEVICE FOR THE DIRECT MEASUREMENT OF THE  
FISSION GAS PRESSURE INSIDE AN IN-PILE FUEL ELEMENT

Summary. - The fission gas pressure inside a fuel element made of a refractory fuel constitutes an important limiting factor for the burn-up. Although it is possible to calculate approximately the volume of gas produced outside the fuel during its life-time, it is nevertheless very difficult to evaluate the pressure since the volume allotted to the fission gases, as well as their temperature are known only very approximately. This physical value, which is essential for the technologist, can only be known by direct in-pile measurement of the pressure.

The report describes the equipment which has been developed for this test.

1964

18 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France



**ETUDE D'UN DISPOSITIF POUR LA MESURE DIRECTE DE LA PRESSION  
DES GAZ DE FISSION A L'INTERIEUR D'UN ELEMENT COMBUSTIBLE EN PILE**

par

Bernard LAVAUD

Commissariat à l'Energie Atomique

Serge USCHANOFF

SOGREAH

**Rapport C E A - R 2571**



*Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

- Rapport CEA-R 2571 -

Services de Technologie

ETUDE D'UN DISPOSITIF POUR LA MESURE DIRECTE DE LA PRESSION  
DES GAZ DE FISSION A L'INTERIEUR D'UN ELEMENT COMBUSTIBLE EN PILE

par

Bernard LAVAUD (CEA), Serge USCHANOFF (SOGREAH)

- Août 1964 -



## SOMMAIRE

- I - BUT DE L'ETUDE
- II - PRINCIPE DU DISPOSITIF DE MESURE
  - II.1 - Volume libre et température
    - II.1.1 - Volume libre
    - II.1.2 - Disposition du crayon
  - II.2 - Principe de fonctionnement du capteur
- III - ESSAIS PRELIMINAIRES
  - III.1 - But des essais
  - III.2 - Différents essais
    - III.2.1 - Une première maquette d'essai avec une membrane ondulée en bronze au glucinium de diamètre extérieur 18 mm
    - III.2.2 - Deuxième montage
    - III.2.3 - Essais de membranes
    - III.2.4 - Troisième montage d'essais
- IV - DISPOSITION DEFINITIVE
- V - INFLUENCE DU VOLUME LIBRE
- VI - ADAPTATION AU DISPOSITIF D'IRRADIATION
  - VI.1 - Conteneur d'irradiation - type EL 3
  - VI.2 - Raison de l'emploi
  - VI.3 - Jonction conteneur - capsule de mesure
- VII - PUPITRE DE CONTROLE
- VIII - CONCLUSION

LISTE DES FIGURES



ETUDE D'UN DISPOSITIF POUR LA MESURE DIRECTE  
DE LA PRESSION DES GAZ DE FISSION A L'INTERIEUR  
D'UN ELEMENT COMBUSTIBLE EN PILE

MM. B. LAVAUD (C. E. A)  
S. USCHANOFF (SOGREAH).

I. - BUT DE L'ETUDE.

Bien que les premiers résultats théoriques et pratiques permettent d'évaluer les quantités de gaz de fission qui se dégagent de l'oxyde d'uranium sous irradiation il est difficile d'évaluer la pression de ces gaz dans un élément combustible déterminé, ayant pour combustible de l' $UO_2$  et pour gaine un tube d'acier inoxydable. Un calcul a cependant été fait pour l'élément combustible EL<sub>4</sub>. Il sera intégré dans le rapport C. E. A n° 2569 de Messieurs RINGOT et FAUSSAT. De plus, s'il est intéressant de connaître la pression en fin de vie de l'élément combustible, il n'est pas moins intéressant d'en connaître l'évolution au cours de son fonctionnement.

Hormis la quantité de gaz dégagé, cette pression est fonction de plusieurs facteurs :

- Caractéristiques de l'oxyde d'uranium.
- Température des gaz de fission pendant le fonctionnement.
- Volume libre à l'intérieur de l'élément combustible (volume libre dans l' $UO_2$  et volume libre supplémentaire éventuellement prévu).

Ces trois principaux facteurs sont pratiquement impossibles à déterminer avec exactitude pour la raison majeure qu'ils varient au cours du temps.

- L'oxyde d'uranium se dilate et se fissure. La gaine d'acier inoxydable se dilate également la température à l'intérieur de l' $UO_2$  change à mesure que les produits de fission sont libérés, et elle n'est pas uniforme au sein de l'élément combustible.

Il faut aussi considérer le fait que la variation de la pression interne de l'élément combustible doit donner certains renseignements sur la loi de dégagement des gaz de fission.

- Tout ceci nous a conduit à étudier un dispositif de mesure directe de la pression des gaz de fission dans l'élément combustible.

## II. - PRINCIPE DU DISPOSITIF DE MESURE.

- Deux facteurs principaux, entrent en considération pour la conception du dispositif :
  - Impératifs du volume libre et de la température.
  - Principe de fonctionnement du capteur.

### II. 1 - Volume libre et température.

#### II. 1. 1 - Volume libre.

Dans le crayon combustible réel, on prévoit un volume libre pour l'expansion des gaz de fission. Dans un premier essai de mesure de pression des gaz de fission en pile, on a préféré pour tester l'appareillage et aussi les valeurs mesurables de la pression au bout de temps aussi court que possible, ne pas laisser de volume libre intentionnel. Le volume libre subsistant dans l'élément combustible est donc celui existant dans le combustible, faible et inconnu. Il est nécessaire dans ces conditions de prévoir un dispositif de mesure ajoutant un volume aussi réduit que possible au volume existant.

#### II. 1. 2 - Disposition du crayon.

Comme nous le verrons plus loin, nous avons décidé d'adapter ce dispositif de mesure sur un dispositif d'irradiation déjà existant et ayant fait ses preuves en pile. Ceci nous a obligé à tenir compte de certains impératifs.

- Le crayon est irradié dans un conteneur en zircaloy dans un bain de NaK, la température de la gaine de l'élément combustible est de l'ordre de 700°C. La température moyenne du NaK est de l'ordre de 640°C. Ces deux données nous ont entraînés à disposer le capteur à l'extérieur du conteneur pour éviter de le faire travailler à une température trop élevée. Le dispositif de mesure se trouve donc au-dessus du conteneur dans une zone refroidie directement par l'eau lourde du circuit pile, et est relié au crayon combustible par un tube capillaire de diamètre intérieur 0,2 mm.

Le dispositif fonctionnera à une température moyenne de l'ordre de 45°C. Malheureusement il sera pratiquement impossible de savoir à quelle température seront les gaz de fission.

### II. 2 - Principe de fonctionnement du capteur.

Une membrane mince sépare les gaz de fission côté crayon d'une contre pression d'hélium, qui est réglée pour équilibrer par palier, la pression intérieure au crayon ; c'est elle que l'on mesure à l'extérieur de la pile. L'appareil fonctionne donc comme un dispositif de zéro :

- De cette façon, les produits de fission restent enfermés dans le crayon, dans un volume relativement faible.

- La déformation de la membrane mince, suivant la différence des pressions gaz de fission et contre pression hélium, est suivie par une touche appuyant en son milieu ; celle-ci par le jeu d'un levier amplificateur agit sur deux contacts électriques. Ces contacts permettent donc de détecter l'instant où la contre-pression hélium est supérieure ou inférieure d'une certaine valeur (correspondant à la sensibilité de l'appareil) à la pression des gaz de fission.

### III. - ESSAIS PRELIMINAIRES.

#### III. 1 - But des essais.

Les objectifs essentiels des premiers essais ont été les suivants :

- vérification du principe de mesure avec membrane et contacts électriques.
- précision et fidélité de l'appareil.
- influence de la pression de travail et de la température sur les mesures.
- déterminer la membrane répondant le mieux aux exigences (déflexion nécessaire au fonctionnement des contacts électriques).

#### III. 2 - Différents essais.

##### III. 2.1 - Une première maquette d'essai avec une membrane ondulée en bronze au glucinium de diamètre extérieur 18 mm a montré que :

a) Toutes les pièces devaient être montées sur un support intérieur, afin de permettre un réglage facile.

b) La pièce supportant la membrane devait être indépendante du bouchon inférieur, pour éviter d'affecter le réglage lors de la dernière opération de soudage.

##### III. 2.2 - Deuxième montage.

- Il avait pour principal but, tenant compte des observations précédentes, de contrôler la marche du système contacts électriques.

Le levier amplifie d'un facteur 8, la déflexion de la membrane de 0,01 mm par  $200 \text{ g/cm}^2$  est sensiblement linéaire.

- Les essais faits à 20°, 60° et 90° C avec des pressions de travail entre 0 et 60 bar ont montré que la fermeture des contacts est obtenue pour des déflexions de la membrane de l'ordre de 0,01 à 0,02 mm.

##### III. 2.3 - Essais de membranes.

- Les premières membranes considérées ont du être abandonnées :

- Les membranes en alliage à base de nickel pour leur déflexion trop faible.

- Les membranes ondulées en bronze au glucinium pour la difficulté de montage et leur volume libre.

- Les membranes planes en acier inoxydable ont donc été retenues pour leur facilité de montage entre deux pièces usinées en forme de calottes sphériques de faible profondeur, ayant sensiblement la forme de la déformée de la membrane.

- Ce montage à l'avantage de laisser un volume libre faible, et de préserver la membrane des surpressions accidentelles. La soudure par argon-arc provoquant des déformations importantes de la membrane, cette dernière est soudée par bombardement électronique.

## ESSAIS DE PRESSION.

Des essais sur membrane en acier inoxydable 18-8 (NS 22 S) d'épaisseur 0,04 mm et de diamètre 12 mm, non maintenue ont donné les résultats suivants :

- déformation élastique jusqu'à 10 bar.
- " permanente au delà de 10 bar, dépassant 1 mm de flèche pour 60 bar. (sans éclatement).

- Une membrane de même type diamètre 8 mm placée sur une cuvette de 0,5 mm de profondeur, elle même percée d'un trou central de  $\phi$  2 mm (simulant le trou de passage de la touche transmettant le déplacement au levier) a été testée jusqu'à 150 bar et n'a pas éclaté.

Dans le montage définitif, la membrane est comprise entre deux cuvettes sphériques de  $\phi$  10 mm, profondeur 0,1 mm, raccordées au plan par un arrondi.

La flèche maximum de 0,1 mm doit être obtenue pour une pression différentielle de 0,8 bar environ (figure 1).

Des essais de cyclage de pression ont également donné satisfaction.

- Membrane  $\phi$  8 mm e = 0,04 mm non maintenue dans un sens.

Température 750°C, pression différentielle + 350 g/cm<sup>2</sup>, période de cyclage 7,5 S.

Après 5000 cycles, la membrane était déformée d'une façon permanente, mais il n'y avait aucun défaut d'étanchéité.

- Sur le même type de membrane 10 cycles à froid 0 - 125 kg/cm<sup>2</sup> n'ont également pas fait apparaître de fuite.

### III. 2.4 - Troisième montage d'essais (figure 2)

Une première série d'essais à basse température a permis de tester quelques améliorations sur le dispositif.

- Contact plus franc.
- Membrane acier inoxydable avec cuvettes sphériques.
- Utilisation d'un capillaire analogue à celui du montage réel.
- Une deuxième série d'essais a été effectuée jusqu'à 420°C.

Entre 200 et 400 °C une dérive augmente l'écart sur l'un des contacts et le diminue sur l'autre.

- Au cours du refroidissement le fonctionnement redevenant normal, on peut penser qu'un échauffement accidentel, s'il dérègle l'appareil ne le rend pas pour cela inutilisable.

### IV. - DISPOSITION DEFINITIVE (figure 3)

Le dispositif devant être mis en place est identique au 3<sup>e</sup> montage d'essais aux différences près suivantes :

- Les supports isolants des contacts sont en alumine frittée.
- Les bouchons des extrémités sont vissés sur le tube inférieur de manière à ce que les soudures ne subissent pas l'effet de fond.

DESCRIPTION (figure 4).

La membrane est en acier inoxydable 18-8 (NS 22 S) épaisseur 0,04 mm, diamètre 10 mm.

- Elle est maintenue entre 2 cuvettes en forme de calotte sphérique de profondeur 0,1 mm.

Le levier amplificateur est articulé par une lame flexible en inox servant à la fois d'articulation et de ressort pour appliquer la touche sur la membrane. Le levier en tôle mince pliée et soudée est conçu de manière à ne pas se déformer en cas de variations de température.

L'extrémité du levier porte une barette argentée se déplaçant entre deux contacts réglables hors du montage, portés par des pièces isolantes en alumine frittée.

La sortie électrique est réalisée par les deux fils d'un thermocouple gainé inox, le contact mobile étant à la masse, la fermeture d'un des contacts agit sur un relai sensible placé dans l'armoire de commande et provoquant l'ouverture d'une électrovanne de réglage de la contre pression.

Les contacts sont réglés de manière à avoir la fermeture pour une pression différentielle de 0,2 à 0,3 bar dans chaque sens. Ils pourraient être réglés pour une pression beaucoup plus faible (10 à 20 g/cm<sup>2</sup>) mais son léger dérèglement, soit lors de la soudure de l'enveloppe extérieure, soit dû à des dilatations risquerait de rendre le dispositif inutilisable. D'autre part, le dispositif de régulation fonctionnerait à une fréquence trop élevée en cas de variation rapide de pression (chute des barres par exemple). Enfin, une telle précision n'est pas nécessaire, la pression à mesurer pouvant atteindre 60 bar ou plus.

V. - INFLUENCE DU VOLUME LIBRE.

- Dans le cas présent, membrane au repos, le volume libre entre membrane et crayon est de l'ordre de 6 mm<sup>3</sup>.

Quand la membrane est déformée pour obtenir le contact A. (pression gaz de fission supérieure à la contre pression) le volume libre précédent est augmenté du volume créé par la déformation de la membrane (0,8 à 1 mm<sup>3</sup>). Inversement pour le contact B. (pression gaz de fission inférieure à la contre pression) le volume est diminué.

- Le volume libre du crayon étant faible, cette variation par rapport au volume au repos peut introduire une variation de pression appréciable à la mesure.

L'étalonnage du contact A. s'établit pour une contre pression  $P - x_1$ , le contact B. pour  $P + x_2$  que l'on peut mesurer, on connaît donc  $X = x_1 + x_2$

En fonctionnement, à  $x_1$  et  $x_2$  s'ajoutent les variations  $\Delta P$  aux variations du volume libre.

On aura donc les contacts :

$$\left. \begin{array}{l} \text{A pour } P - x_1 - \Delta P_1 = P_1 \\ \text{B " } P + x_2 + \Delta P_2 = P_2 \end{array} \right\} P_2 - P_1 = X + \Delta P$$

En mesurant  $P_2 - P_1$  on peut déterminer :

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 = \Delta P$$

Comme l'étalonnage nous donne les déplacements provoquant les contacts, on connaît le  $\Delta V$ , dû à la membrane, correspondant, qui crée cette variation de pression  $\Delta P$ .

## EN CONCLUSION -

- La mesure du  $\Delta P$  est faisable et on établit une relation entre volume libre et température des gaz de fission pour effectuer la correction.

- Le  $\Delta P$  n'est pas sensible, le volume libre à l'intérieur du crayon est important par rapport au  $\Delta v$  dû à la déformation de la membrane.

## VI. - ADAPTATION AU DISPOSITIF D'IRRADIATION.

### VI. 1 - Conteneur d'irradiation - type EL<sub>3</sub>

Le dispositif d'irradiation des crayons EL<sub>4</sub> dans le réacteur EL<sub>3</sub> est un conteneur en zircaloy II à lame de gaz statique non réglable.

- L'élément combustible baigne dans du NaK pressurisé à 60 bar.

- Le conteneur est constitué de 2 cylindres concentriques, ménageant entre eux une lame d'hélium d'environ 20/100<sup>e</sup> à froid qui joue le rôle de barrière thermique. Les dimensions imposées par le réacteur ne nous permettent pas pour l'instant d'avoir une lame de gaz variable pour la régulation de la température gaine.

### VI. 2 - Raison de l'emploi.

Il est essentiel, pour cette mesure de pression de gaz de fission de connaître les conditions de fonctionnement de l'élément combustible, et en particulier de l'UO<sub>2</sub>.

- Ce dispositif a servi pour plusieurs irradiations, ses caractéristiques sont donc connues. De plus une manipulation préalable dans les mêmes conditions de montage et d'irradiation nous a permis de connaître la température à coeur d'un élément combustible identique à celui dans lequel on veut mesurer la pression des gaz de fission, ceci en fonction de la température de la gaine.

Lors de l'irradiation, connaissant la température gaine, on pourra déterminer les conditions de fonctionnement de l'élément combustible permettant ainsi d'interpréter les résultats des mesures de pression.

### VI. 3 - Jonction conteneur - capsule de mesure.

- Pour des raisons de fabrication, il est nécessaire de construire la capsule de mesure en acier inoxydable. De plus le crayon à gaine acier inoxydable, est directement relié au dispositif de mesure.

- Nous avons donc adapté une solution joint diffusé, zircaloy II, acier inoxydable. Elle permet de faire les sorties de thermo-couples du conteneur par brasure au four sous vide. Comme nous l'avons indiqué plus haut, le crayon combustible est directement relié à la membrane déformable par un capillaire - le bouchon du crayon et la pièce porte membrane ne faisant qu'une seule pièce.

## VII. - PUPITRE DE CONTROLE (figure 5).

Le gaz de contre pression est de l'hélium. Nous utilisons ce gaz car il est également utilisé pour la pressurisation du NaK sur l'élément combustible.

Cet hélium est détendu à une pression supérieure à la pression d'utilisation maximum pendant une période donnée.

Ce gaz est admis dans la capsule de mesure pour régler la contre pression.

Ce réglage se fait :

- en marche manuelle, par l'intermédiaire de deux robinets by-passant les électrovannes.
- en marche automatique, par l'intermédiaire de deux électrovannes dont le débit est contrôlé par deux robinets de réglage.

- La pression est contrôlée par un manomètre de tableau et enregistrée en marche automatique à l'aide d'un capteur de pression ACB et d'un enregistreur CHAUVIN-ARNOUX.

- Des voyants lumineux signalent la fermeture des contacts de la capsule de mesure ainsi que l'ouverture des électrovannes en marche automatique.

La fermeture des contacts de la capsule est également enregistrée sur les bords de l'enregistrement de pression.

#### VIII. - CONCLUSION -

Ce principe de dispositif a été choisi parce qu'il donne une meilleure fidélité qu'un appareil, directement placé dans le crayon combustible, de réalisation beaucoup plus délicate. En particulier un dispositif à soufflet a été expérimenté au laboratoire ; ce soufflet devait travailler dans des conditions de température mal connues, par action directe des gaz de fission chauds. Il n'a pas donné satisfaction.

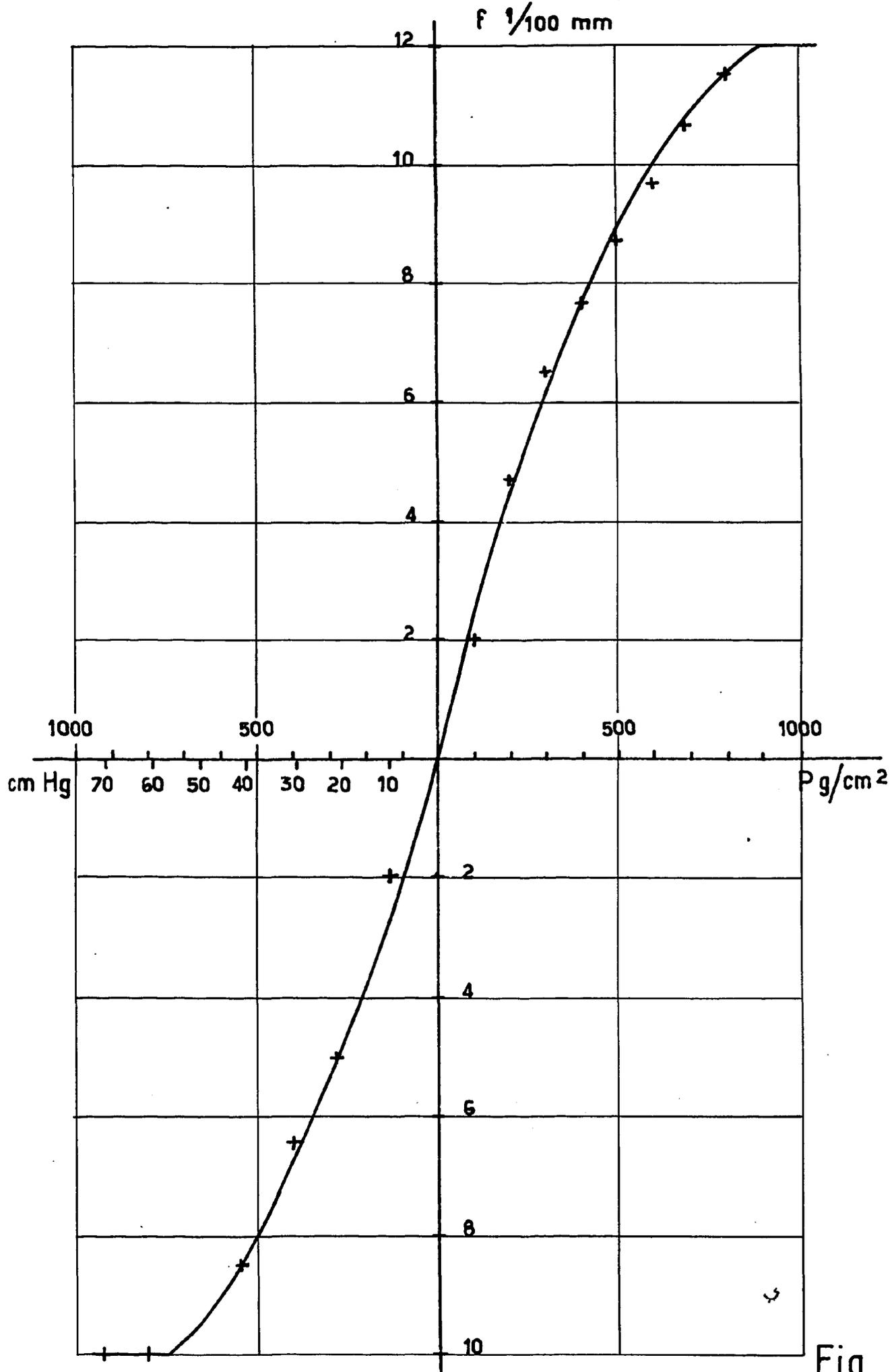
- Le dispositif décrit ci-dessus sera mis en pile au mois de Juin pour tester dans les conditions de fonctionnement optima -  $380 \text{ W/cm}^3$  -  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  - 60 bar sur la gaine, un élément combustible type EL<sub>4</sub> 1° Jeu.

- LISTE DES FIGURES -

- figure 1. Flèche de la membrane d'acier inoxydable en fonction de la pression différentielle.
- figure 2. Montage du dispositif pour essais en laboratoire.
- figure 3. Plan général d'irradiation et de la capsule de mesure.
- figure 4. Pièces détachées de la capsule de mesure.
- figure 5. Schéma des circuits de commande du dispositif.

# CAPSULE GF

Etalonnage de la membrane  
( Flèche en fonction de la pression )



Fig\_1

CAPSULE GAZ DE FISSION

Montage d'essais

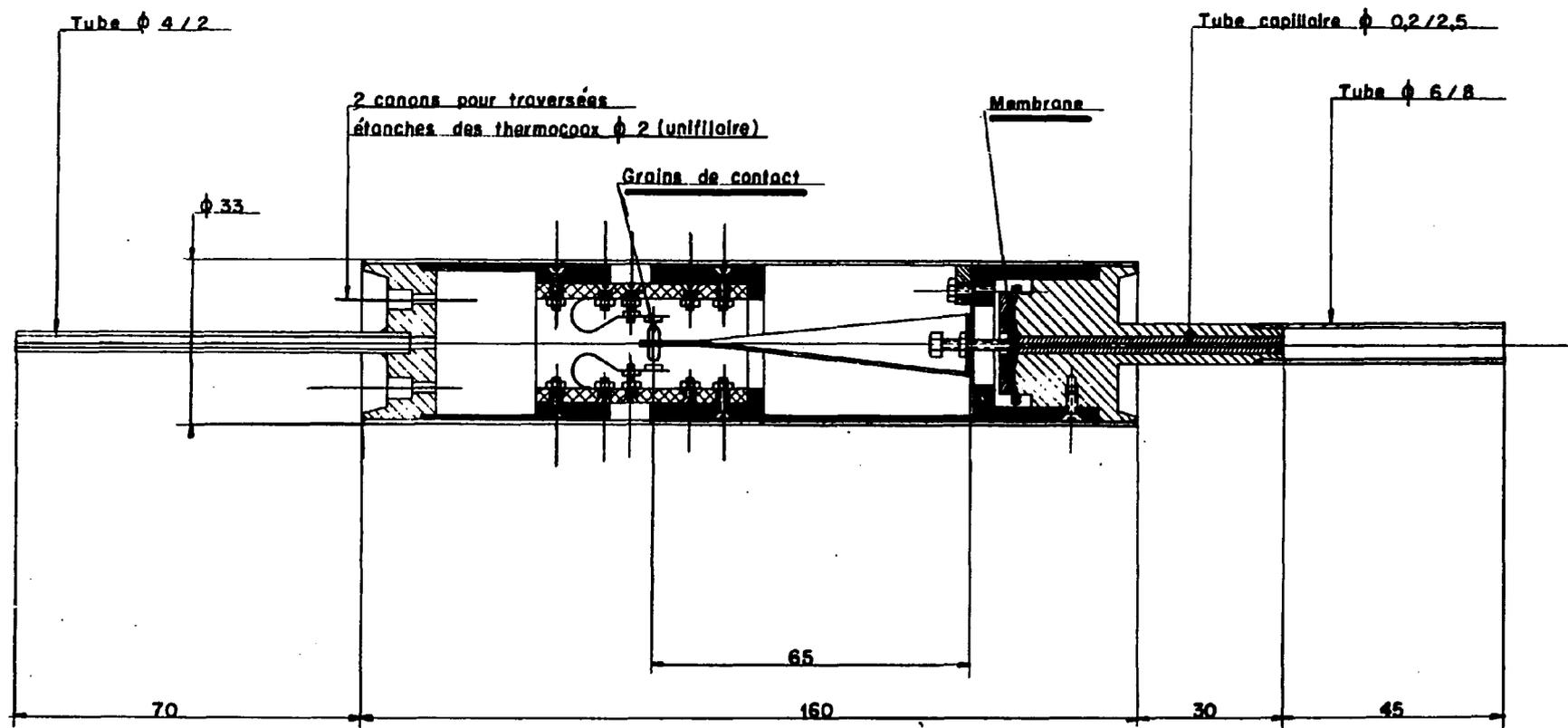
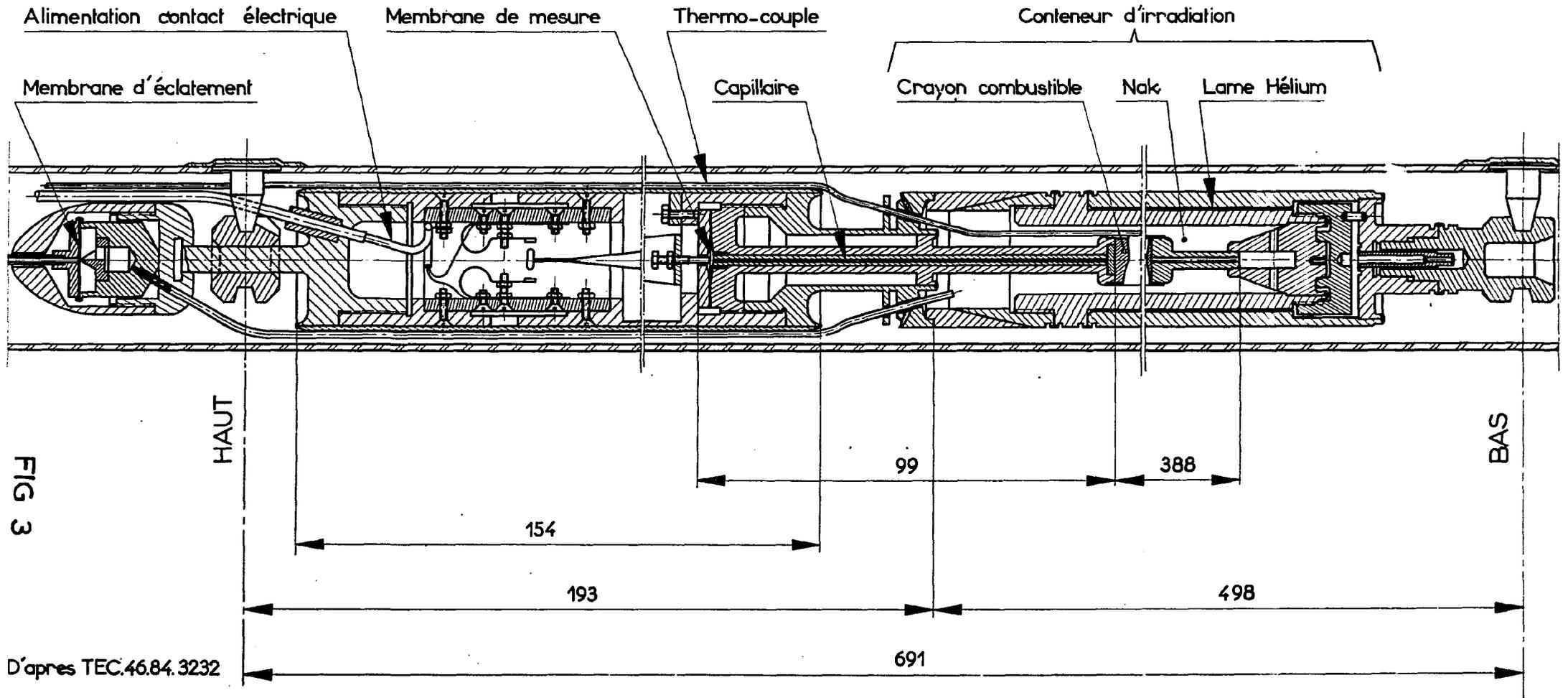


FIG. 2

# CONTENEUR ( Nak - lame Hélium )

pour mesure de pression des gaz de fission en pile  
d'un crayon EL 4



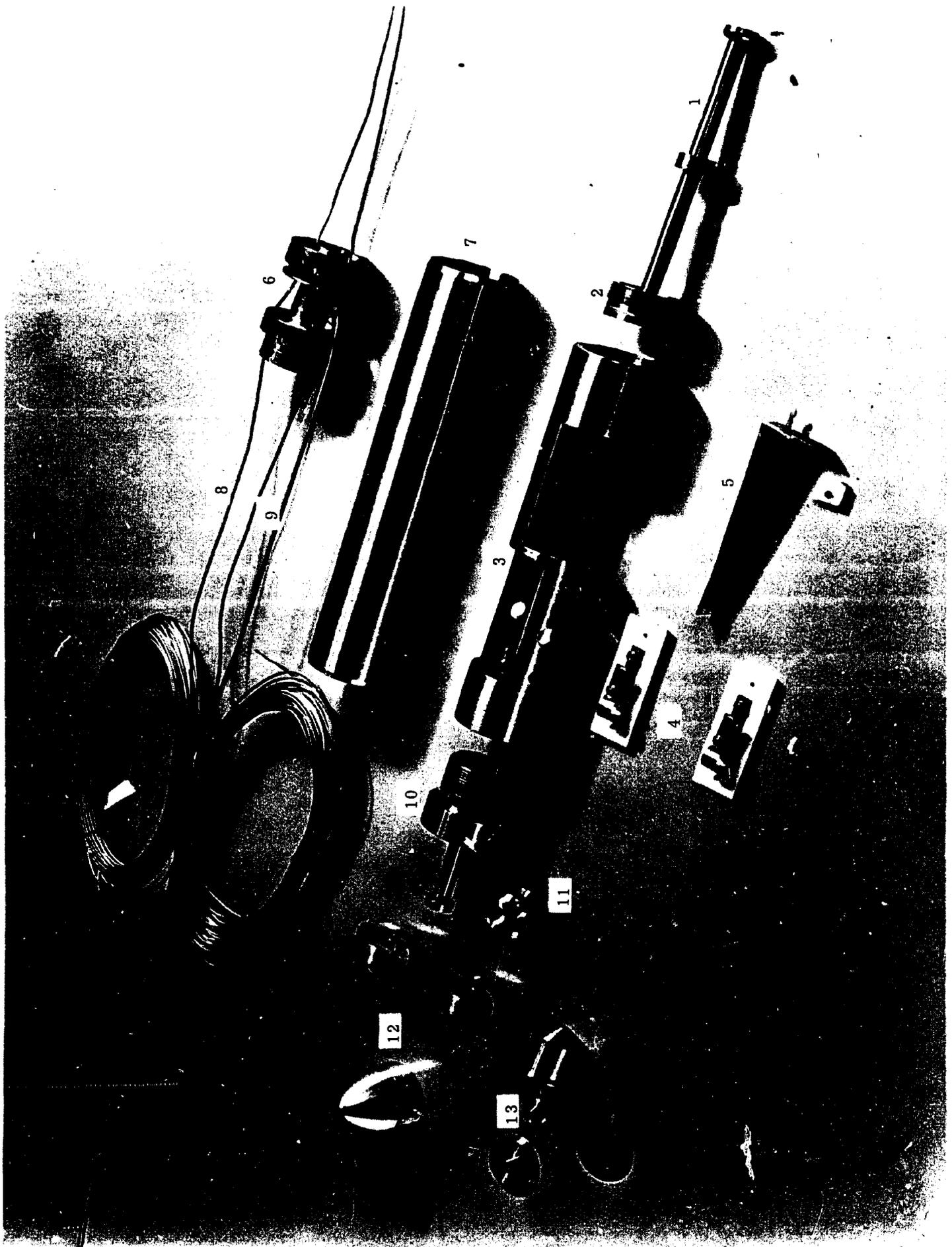


FIG 4

**NOMENCLATURE DE LA PHOTO FIGURE 4**  
=====

Titre : "CAPSULE DE MESURE DE LA PRESSION DES GAZ DE PRESSION"

DETAILS

Repères

- |    |   |
|----|---|
| 1  | Capillaire entre crayon et membrane de mesure   |
| 2  | Membrane de mesure  |
| 3  | Manchon support   |
| 4  | Contacts électriques avec support en alumine  |
| 5  | Service transmetteur des déplacements   |
| 6  | Tête du conteneur - passage des thermocouples   |
| 7  | Fourreau de protection de la capsule de mesure  |
| 8  | Thermocouples température gainé de l'élément combustible                              |
| 9  | Tube d'arrivée hélium - pressurisation extérieure du crayon                           |
| 10 | Bouchon du dispositif de mesure   |
| 11 | Pièce de centrage du dispositif en pile   |
| 12 | Carenage du dispositif admission de la pression hélium sur le crayon                  |
| 13 | Dispositif membrane d'éclatement pour circuit de pressurisation hélium sur le crayon. |

# CAPSULE GAZ DE FISSION

## Schéma du pupitre de commande : Solution régulation

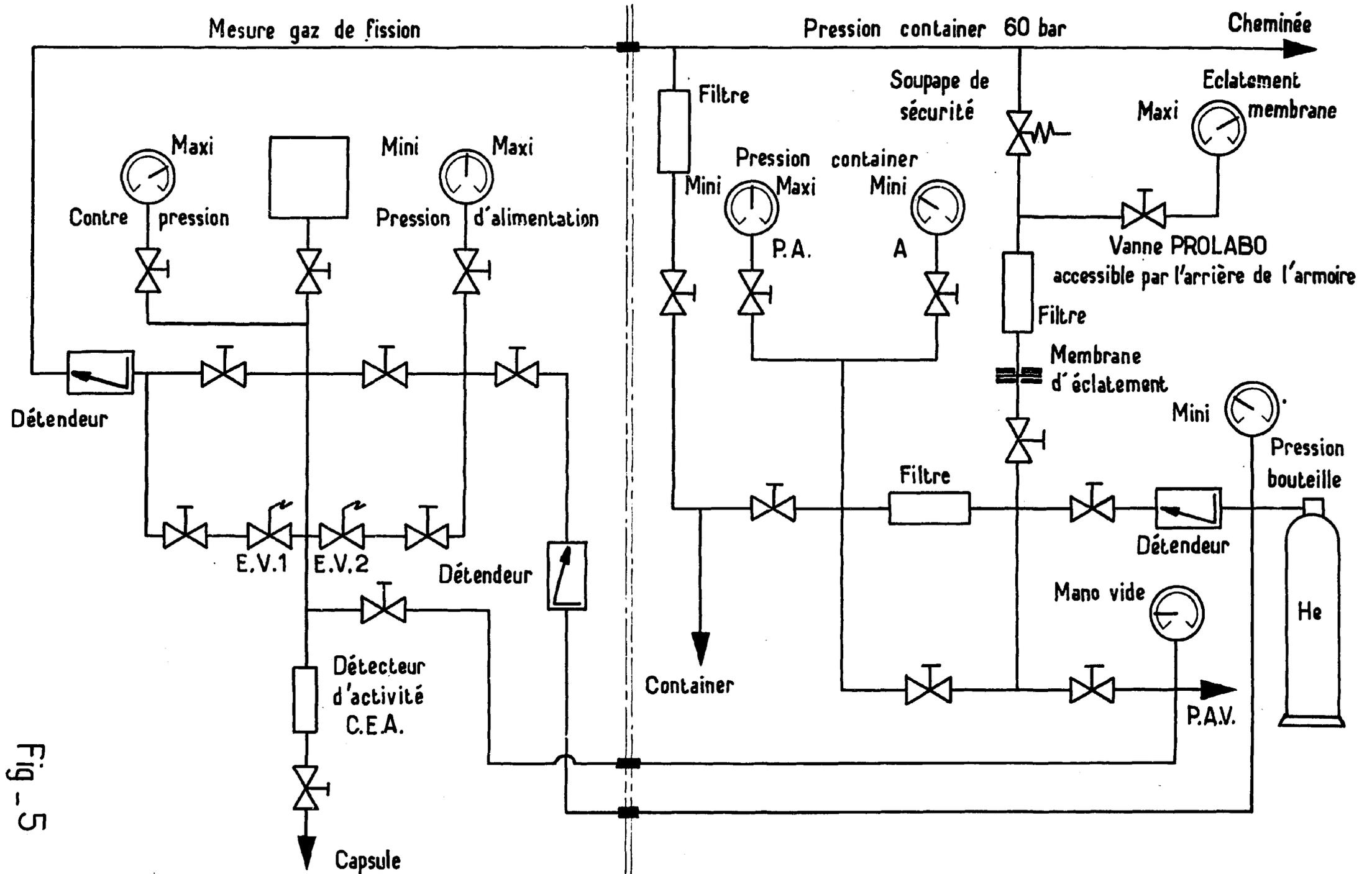


Fig - 5

**FIN**