

PREMIER MINISTRE

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

8.2

DISPOSITIF AUTOMATIQUE
POUR LA MESURE
DE SOURCES EMETTRICES DE RAYONNEMENT β :
P. A. P. A. β METRES

par

Jean COLOMER, Michel VALENTIN

SOUS-DIRECTION DES ESSAIS

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Chatel

Rapport CEA - R - 3782

1969

Ca

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DU C.E.A

C.E.N - SACLAY B.P. n°2, 91-GIF-sur-YVETTE - France

CEA-R-3782 - COLOMER Jean, VALENTIN Michel

DISPOSITIF AUTOMATIQUE POUR LA MESURE DE
SOURCES EMETTRICES DE RAYONNEMENT β :
P.A.P.A. β METRES

Sommaire. - L'appareillage décrit est destiné aux mesures des éléments émetteurs β par la méthode d'absorption et il permet d'effectuer, en routine, un nombre important de mesures.

Un ensemble mécanique effectue le passage automatique, sous vide primaire, d'un jeu d'absorption en aluminium entre la source et le détecteur, ce passage est programmé en pré-temps ou précoup par un ensemble électronique à transistors, avec impression et perforation sur bandes des résultats des mesures pour traitement mathématique par un ordinateur (tracé du spectre d'absorption, extrapolation et calcul

./.

CEA-R-3782 - COLOMER Jean, VALENTIN Michel

AUTOMATIC DEVICE FOR MEASURING β -EMITTING
SOURCES : P.A.P.A. β - METERS

Summary. - The apparatus described is designed for measuring β -emitting elements by the absorption method ; it is suitable for carrying out a large number of routine analyses.

A mechanical device pushes an aluminium absorption set automatically between the source and the detector ; the movement is programmed for cutting on and off by a transistorized electronic unit, with printing out and punching of the results on tape ; this can then be mathematically processed by a computer (tracing of absorption spectra, extrapolation and calculation of the activity).

The detector is either a β -probe or a proportional counter with a specially designed loop. For routine measu-

./.

d'activité).

Le détecteur est soit une sonde β , soit un compteur proportionnel à boucle spécialement réalisé. Sur des mesures de routine, la précision obtenue, toutes corrections effectuées, est de 5 à 8 pour cent et la reproductibilité de l'ordre de 2 pour cent.

1969

34 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

rements, the accuracy obtained, with all corrections made, is from 5 to 8 per cent ; the reproducibility is about 2 per cent.

1969

34 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

Centre d'Etudes Nucléaires de Bruyères-le-Chatel
Sous-Direction des Essais

DISPOSITIF AUTOMATIQUE
POUR LA MESURE
DE SOURCES EMETTRICES DE RAYONNEMENT β :
P.A.P.A. β METRES

par

Jean COLOMER, Michel VALENTIN

- Juin 1969 -

REMERCIEMENTS.

Nous tenons à adresser nos remerciements à :

- Madame P. BENOIT qui a mis à notre disposition des sources étalon.
- Mademoiselle D. GAUVAIN, Mademoiselle E. POMME et Monsieur J. BUSANI qui ont participé à la mise en oeuvre des P.A.P.A. β mètres et à leur exploitation.
- Messieurs B. BOUDRY, A. LE NEVANNEAU et J.L. MARCHAND qui ont assuré l'assistance électronique de nos appareils.

TABLE DES MATIERES.

	Pages
1 - INTRODUCTION	7
2 - LA METHODE PAR ABSORPTION : Rappel de quelques notions	9
3 - LES P. A. P. A. β mètres	11
3-1. L'ensemble électromécanique	12
3-2. L'électronique de commande	13
3-2-1. Le tiroir programmeur (5 U)	13
3-2-2. Le tiroir affichage (8 U)	13
3-2-3. Les échelles	14
3-2-4. Détail des opérations en fonctionnement normal	14
3-3. La chaîne détectrice β	14
3-3-1. Sondes β	15
3-3-2. Compteur proportionnel à boucle	15
4 - MISE EN OEUVRE DES P. A. P. A. β mètres	17
4-1. Facteurs d'étalonnage	17
4-2. Exploitation de routine	18
5 - CONCLUSION	21
BIBLIOGRAPHIE	22

LISTE DES FIGURES

	Pages
FIGURE 1 - Droite d'absorption pour le ^{143}Pr	24
FIGURE 2 - Courbe d'absorption pour un mélange ^{112}Ag et ^{109}Pd	24
FIGURE 3 - Schéma du premier prototype de P.A.P.A. β mètre	25
FIGURE 4 - Coupe d'un P.A.P.A. β mètre : la cuve et le système <i>motour</i>	26
FIGURE 5 - Coupe d'un P.A.P.A. β mètre : la zone de mesure	27
FIGURE 6 - Schéma synoptique de l'ensemble électronique	28
FIGURE 7 - Présentation des résultats : impression et perforation	28
FIGURE 8 - Compteur proportionnel à boucle	29
FIGURE 9 - Sensibilité du compteur à boucle suivant deux diamètres <i>perpendiculaires</i>	30
FIGURE 10 - Palier d'un compteur proportionnel à boucle	31
FIGURE 11 - Courbe d'étalonnage d'une sonde β fonctionnant sous <i>V_{ij}</i>	31
FIGURE 12 - Deux P.A.P.A. β mètres	32

**DISPOSITIF AUTOMATIQUE
POUR LA MESURE
DE SOURCES ÉMETTRICES DE RAYONNEMENT β :
P.A.P.A. β METRES**

1 - INTRODUCTION.

La mesure de l'activité d'une source radioactive émettrice β , comportant, outre un certain radioélément, diverses impuretés, nécessite une étude spectroscopique destinée à déterminer la composition de cette source et en particulier les impuretés qu'elle renferme.

Cette étude peut être effectuée, dans certaines conditions, par spectrométrie β directe mettant en oeuvre un ensemble d'analyse en amplitude associé à un détecteur β qui peut être par exemple soit un cristal d'anthracène couplé à un photomultiplicateur [1] soit un semi-conducteur Si-Li ou à barrière de surface. Cette méthode qui présente l'avantage de donner une image de la distribution en énergie des rayons β , conduit souvent à des calculs importants et nécessite une interprétation délicate eu égard à la nature des sources qui ne sont pas en général "sans poids". La spectrométrie β directe n'est pas toujours applicable et ne peut donner lieu à une exploitation de routine simple.

Une autre possibilité consiste à utiliser la méthode par absorption qui est une spectrométrie indirecte : le relevé du spectre d'absorption β est caractéristique du radioélément mesuré et permet de vérifier la pureté de la source considérée et de déterminer son activité en faisant intervenir un certain nombre de facteurs (géométrie, autoabsorption, etc...). En général cette méthode d'absorption est fastidieuse car l'opérateur doit interposer manuellement un jeu d'absorbants entre le détecteur (très souvent un G. M.) et la source : si la précision du résultat importe, il est en effet nécessaire de relever un grand nombre de points expérimentaux pour chacun desquels il faut interposer manuellement entre la source émettrice β et le détecteur, des lamelles absorbant une fraction de rayonnement. Outre les risques d'erreurs liés à l'expérimentateur lors des diverses manipulations qu'il doit accomplir, il est très difficile de conserver pour l'ensemble des mesures à effectuer, notamment lors du positionnement géométrique des diverses lamelles, une homogénéité suffisante permettant l'obtention d'une précision convenable et d'une bonne reproductibilité.

Nous avons mis au point un appareil permettant le passage automatique du jeu d'absorbants entre la source et le détecteur, ce passage étant programmé en prétemps ou précoup, avec impression et perforation des résultats de mesures pour traitement mathématique par un ordinateur.

Après avoir rappelé les grandes lignes de la méthode par absorption nous décrirons notre dispositif automatique de mesure, les détecteurs utilisés (sondes β et compteur proportionnel à boucle) et exposerons brièvement l'exploitation de routine de ces appareils.

2 - LA METHODE PAR ABSORPTION : Rappel de quelques notions.

Les électrons produisent une ionisation et une excitation dans les milieux ralentisseurs exactement de la même manière que les particules lourdes chargées mais leur parcours n'est pas une quantité aussi bien définie. On trouvera dans de nombreux ouvrages des exposés détaillés sur l'interaction des électrons avec la matière et sur l'absorption de faisceaux d'électrons monoénergétiques. [2] [3] et [4] par exemple.

Le spectre d'énergie des électrons émis dans la désintégration β est continu : même lorsque l'énergie maximum est élevée le spectre contient des électrons d'énergie presque nulle qui seront arrêtés par des épaisseurs excessivement faible d'absorbant. Pour chaque électron on pourrait essayer de définir un parcours moyen dépendant de son énergie et par conséquent choisir une épaisseur d'absorbant arrêtant complètement cet électron. Si on considère tout le spectre on conçoit aisément que des absorbants de plus en plus épais arrêteront des électrons de plus en plus énergétiques jusqu'à l'énergie maximum.

Donc, si on augmente régulièrement l'épaisseur de l'absorbant entre la source et le détecteur β l'activité mesurée décroît de façon continue. En portant le logarithme de cette activité en fonction de l'épaisseur de l'absorbant on obtient approximativement une droite (Fig. 1). Cette décroissance quasi-exponentielle ne correspond pas à un phénomène élémentaire simple comme dans le cas de l'absorption γ . Pour des épaisseurs importantes la courbe d'absorption s'éloigne de l'exponentielle (ligne droite en papier semi-logarithmique) : elle tend asymptotiquement vers l'épaisseur d'absorbant qui correspond au parcours des particules d'énergie maximum.

Si la source radioactive émet deux rayonnements de type différent on obtient des courbes dont l'aspect est celui de la fig. 2 : on peut décomposer de telles courbes exactement de la même manière que dans le cas des courbes de décroissance radioactive.

Dans tous les cas l'extrapolation de la ou des droites d'absorption fournit (après correction du temps mort électronique) le nombre de coups N pour l'absorption nulle. Pour atteindre l'activité de la source il faut ensuite tenir compte de plusieurs facteurs :

- géométrie puisque la mesure s'effectue en géométrie définie G.
- pourcentage β utilisé si la source étudiée émet plusieurs rayonnements et que seul l'un d'entre eux sert à l'extrapolation.
- autoabsorption.
- autodiffusion.

- efficacité globale de détection C.
- temps de la mesure,

enfin

Ces facteurs sont soit extraits de la littérature (pourcentage β) [5], soit déterminés par des mesures simples (G et C) qui découlent de l'étalonnage de l'appareil de mesure, soit enfin le résultat d'une étude complexe portant sur un grand nombre de sources radioactives de poids variables (cas des facteurs autoabsorption et autodiffusion).

Le contrôle de la pureté de la source radioactive s'effectue au moment de l'extrapolation : la pente de la partie rectiligne du spectre d'absorption et le parcours maximum sont fonction de l'énergie maximum du spectre β . Nous avons relevé expérimentalement les courbes donnant en fonction de cette énergie :

- la pente de la droite d'absorption,
- le parcours maximum.

Dans la pratique on utilise une courbe déduite de ces courbes et qui donne l'épaisseur d'absorbant réduisant le taux de comptage d'un facteur 10.

Il nous est donc possible, lors du tracé d'un spectre d'absorption sur papier semi-logarithmique de vérifier que la pente et le parcours maximum sont compatibles avec les valeurs prévues aux erreurs expérimentales près.

3 - LES P.A.P.A. β mètres.

Les premières mesures β qui nous ont été confiées vers l'année 1960 ont été réalisées par la méthode d'absorption sur des appareils manuels avec comme détecteur des G.M. auxquels étaient associés des circuits électronique permettant de connaître le temps réel de mesure. Dès cette époque nous avons envisagé d'automatiser le passage des absorbants afin de bénéficier de meilleures conditions de mesure et d'éviter au personnel un travail fastidieux et peu enrichissant.

Un premier essai d'automatisation a permis la réalisation d'un passeur d'absorbants dont la figure 3 donne une idée : une bande métallique souple dont les deux extrémités étaient réunies pour constituer un ruban continu servait de support aux lamelles d'aluminium utilisées comme absorbants. Cette bande reposait à la partie haute de l'appareil sur une surface plane horizontale, évidée et raccordée par des arrondis à des montants verticaux : l'ensemble était placé dans une enceinte sous vide, long cylindre vertical. Les déplacements de la bande étaient provoqués par un bras métallique animé d'un mouvement de va-et-vient dans un plan horizontal et qui possédait deux ergots mobiles pouvant s'engager dans des encoches adéquates usinées dans la bande sans fin. Le mouvement de translation était asservi par un système moteur à une électronique disponible dans le commerce : on obtenait ainsi l'inscription sur bande de papier du numéro de l'absorbant (1, 2, 3 ... etc.) le temps de mesure et le taux de comptage. A la suite des premiers essais encourageants de ce dispositif un brevet a été pris couvrant tout ensemble analogue [6]. L'exploitation en routine de ce premier passeur d'absorbants ne fut pas très heureuse, le système moteur prélevé sur un passeur d'échantillons commercial n'étant pas parfaitement adapté aux efforts de traction qui lui étaient ici demandés et le positionnement des absorbants n'était pas toujours reproductible.

Il était donc nécessaire de réaliser un second prototype entièrement conçu dans le but de nos applications et profitant largement de l'expérience déjà acquise sur le premier appareil : ceci nous a conduit à traiter, dès 1962, avec deux constructeurs français ayant l'un construit des passeurs d'échantillons liquides (MECASERTO), l'autre ayant l'expérience des problèmes électroniques de traitement d'informations (E. L. A.).

L'appareil réalisé en 1964 et dénommé P.A.P.A. β mètre (Passeur Automatique Pour Absorbants mesures β) est constitué d'une partie électromécanique avec une cuve sous vide, d'un ensemble électronique de commande et de la chaîne détectrice β : 5 autres appareils identiques ont été ensuite réalisés.

3-1. L'ensemble électromécanique.

Pour cette réalisation nous avons choisi un nouveau mode d'implantation des absorbants assurant un positionnement sûr et reproductible (Fig. 4). Un plateau parfaitement rigide, de forme circulaire supporte les 30 absorbants de poids croissant : ils sont répartis régulièrement selon deux circonférences de diamètres différents mais concentriques comprenant chacune 15 absorbants : les n° 1 à 15 sont sur la circonférence intérieure et les n° 16 à 30 sur la circonférence extérieure. Les absorbants sont constitués par des lamelles d'aluminium pur empilées et montées dans des coupelles évidées, facilement démontables. Un absorbant supplémentaire (+ P) peut être mis en place entre le plateau et le détecteur, ce qui augmente les gammes de poids disponibles pour le relevé du spectre d'absorption. Les absorbants et l'absorbant supplémentaire sont le plus près possible du détecteur afin d'éviter des pertes de comptage par diffusion.

Le plateau porte absorbants tourne autour de son axe (passage de la première série d'absorbants 1 à 15) et peut effectuer un mouvement horizontal angulaire pour déplacer son axe ce qui permet alors par rotation d'interposer entre la source et le détecteur les absorbants de l'autre circonférence (n° 16 à 30). La rotation du plateau s'effectue par un système d'engrenages, la translation de l'axe étant réalisée par un disque à came lié à la rotation du plateau mais n'effectuant qu'un tour pour deux tours du plateau. Un système de galets permet de supprimer la translation : dans ce cas le plateau d'absorbants tourne uniquement autour de son axe primitif et on ne passe que la série d'absorbants n° 1 à 15. Sur le disque à came sont placés des pions actionnant successivement 15 microrupteurs destinés au codage de la position angulaire du plateau d'absorbants (repérage du n° d'ordre, donc ultérieurement du poids en mg/cm^2 de l'absorbant placé en position mesure).

Une enceinte en acier inoxydable, étanche au vide (1 Pascal environ) contient le plateau porte absorbants et des engrenages de commande ; sont placés à l'extérieur : le disque à came et système de codage ainsi que le moteur fournissant l'énergie mécanique à l'ensemble. L'enceinte sous vide, de forme cylindrique ($\phi = 79 \text{ cm}$, $h = 22 \text{ cm}$) comporte deux couvercles d'assez grande surface. Chaque couvercle est formé de deux plaques métalliques séparées et soudées à 9 raidisseurs radiaux en I ; le rôle des raidisseurs est fondamental car ils lient les deux plaques et leur imposent, sous la force de la pression atmosphérique, une flexion d'ensemble. La flèche présentée par le couvercle est de l'ordre de $6/100 \text{ mm}$. L'étanchéité des couvercles, axes et passages divers est assurée par joints toriques en VITON.

Le couvercle supérieur comporte un logement pour le détecteur, le couvercle inférieur un puits qui permet le déplacement vertical du support de source (Fig. 5). Ce déplacement est obtenu par vis micrométrique actionnée soit manuellement soit par moteur électrique. La lecture de la position de la source par rapport au détecteur se fait sur une règle graduée et disque vermiculaire permettant de lire le $1/100 \text{ mm}$ et d'obtenir une excellente précision après tarage de la position zéro.

Une porte latérale sur la chambre à vide permet l'introduction de la source à étudier ; la porte est équipée d'une sécurité qui coupe l'alimentation THT du détecteur à l'ouverture.

Cet ensemble électromécanique se présente sous la forme d'un meuble autonome mobile. La face avant de la carrosserie groupe les commandes nécessaires à l'exploitation

de l'appareil (arrêt-marche, montée-descente de la source, sélection des absorbants, etc...) les voyants de compte-rendu de position d'absorbant et de sélection de gamme (1-15 ou 1-30) et le périscope permettant la lecture de la distance source détecteur.

3-2. L'électronique de commande.

Cet ensemble électronique comprend un tiroir programmeur, un tiroir affichage du poids des absorbants, deux échelles, une imprimante et une perforatrice de bande (Fig. 6), le tout situé dans une baie standard 30 U avec la THT nécessaire au détecteur β .

3-2-1. Le tiroir programmeur (5 U).

Il comprend les circuits nécessaires à la commande des cycles de mesures, les circuits de décodage et de sortie des résultats ainsi qu'une base de temps. Cette dernière est formée d'un oscillateur à diapason à 1 kHz suivi de deux décades et donne un signal à 10 Hz : il est utilisé pour la mesure du temps dans une échelle ECT 21, et fournit, après division par 2, du 5 Hz qui sert à commander la sélection des 7 décades de chaque échelle par commutation d'anneaux à thyratrons, et la validation de la sortie des informations sur l'imprimante et sur la perforatrice.

Une bascule "attente-mesure" permet le démarrage d'une série de mesures, tandis que la bascule "commande moteur" fait avancer le plateau porte absorbants pas à pas, après chaque mesure ; un circuit "répétition mesure", en plateau bloqué, donne la possibilité de faire une série de mesures consécutives sur le même absorbant. L'avance pas à pas du plateau est conditionnée par le signal fin d'enregistrement de mesure si l'on est en fonctionnement normal. Lorsque l'absorbant suivant est bien positionné il y a début d'une nouvelle mesure.

Des circuits de décodage par matrice classique à diodes transforment le binaire-décimal en décimal pour impression sur ADDO-X et des circuits de transcodage permettent la perforation des informations sur TALLY 420 PR avec un code à 7 digits. Un circuit met sous tension le moteur de la perforatrice en fermant un commutateur à thyratrons lorsqu'il reçoit un compte-rendu arrêt de comptage fourni par les échelles ECT 21 ; en fin de lecture des résultats le signal RAZ des échelles le met hors tension. Enfin des circuits logiques "Instructions" permettent le saut papier sur l'imprimante et la perforation de TABULATION et RETOUR CHARIOT.

3-2-2. Le tiroir affichage (8 U)

Sur la face avant de ce tiroir, 30 groupes de commutateurs CONTRAVES à 3 décades permettent d'afficher en décimal les densités superficielles, en mg/cm^2 , des 30 absorbants. Ces groupes sont validés successivement, en concordance avec la position du plateau, donc avec l'absorbant intercalé entre la source radioactive et le détecteur. La sortie des commutateurs s'effectue en binaire-décimal. Chacun des groupes de CONTRAVES est traité comme une échelle à 3 décades.

Ce tiroir affichage contient aussi les circuits de sélection qui permettent de transférer chaque décade de chaque échelle vers les organes d'enregistrement.

Selon que l'absorbant additionnel est en place ou non il y a addition du poids fixe aux poids affichés de chacun des 30 absorbants : deux voyants indiquent soit addition soit non addition ; entre les deux positions extrêmes de l'absorbant additionnel les deux voyants restent allumés et il ne peut y avoir commencement d'une mesure.

3-2-3. Les échelles.

Ce sont des échelles ECT 21 à 7 décades ; elles sont utilisées en précompte soit du nombre de coups soit du temps (10 Hz issu du tiroir programmeur). En fonctionnement normal, à la fin du signal "remise à zéro", leurs portes d'entrée sont ouvertes simultanément par un ordre "marche échelles" donné par le tiroir programmeur. La première échelle atteignant le précompte affiché (en général c'est un prétemps) ferme la porte de l'autre échelle : il y a émission d'un compte-rendu d'arrêt qui déclenche l'enregistrement.

3-2-4. Détail des opérations en fonctionnement normal.

Lorsque l'on appuie sur le bouton mesure du programmeur, le voyant mesure s'allume ; si l'absorbant est bien positionné, si le moteur du plateau est arrêté, et si l'absorbant additionnel est bien en fond de course, le voyant "absorbant bien positionné" s'allume ; alors la RAZ des échelles est levée, les portes s'ouvrent et le comptage commence. Lorsque le prétemps (ou le précompte éventuellement) est atteint les portes d'entrée des échelles se ferment : il y a émission d'un compte-rendu d'arrêt qui déclenche la suite du processus : mise sous tension du moteur de la perforatrice TALLY ; dix secondes après (temps nécessaire pour l'obtention d'une vitesse de régime) l'enregistrement des résultats commence : les anneaux à thyatron actionnés par le 5 Hz direct valident d'abord chaque décade du groupe de CONTRAVES correspondant à l'absorbant mesuré puis successivement chaque décade des deux échelles. Les circuits logiques "Instructions" délivrent en temps voulu les ordres nécessaires à l'enregistrement. Le 5 Hz complémentaire actionne l'imprimante ADDO-X et la perforatrice TALLY. Les résultats sont disponibles sous la forme indiquée fig. 7.

Le signal "fin d'enregistrement" met le moteur de plateau en marche. Le signal "plateau bien positionné" disparaît, ce qui provoque la fermeture de la porte des anneaux, la RAZ des échelles et la coupure de l'alimentation secteur de la perforatrice.

Lorsque l'absorbant suivant est en place la rotation s'arrête et le cycle recommence par fin de RAZ, comptage, etc... Suivant le "nombre de répétition du cycle" affiché les mesures s'arrêtent après 1, 2 ou 3 cycles ou continuent indéfiniment.

3-3. La chaîne détectrice β .

Cette chaîne électronique comprend le détecteur β proprement dit qui est soit une sonde β , soit un compteur proportionnel, une THT et un amplificateur dont la sortie calibrée est reliée à l'échelle ECT 21 qui enregistre le taux de comptage.

3-3-1. Sonde β .

Cette sonde est composée d'un photomultiplicateur 53 AVP 02 et d'un scintillateur plastique fluorescent SPF de diamètre 40 mm et d'épaisseur 1,5 mm. Ce scintillateur est collé sur la fenêtre du photomultiplicateur et recouvert d'une feuille de mylar aluminisé (de l'ordre de $800 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) qui joue le rôle de réflecteur. L'ensemble est placé dans le logement prévu à cet effet dans le couvercle supérieur de la chambre à vide et qui est entouré de 5 cm de plomb.

3-3-2. Compteur proportionnel à boucle.

Afin d'utiliser les avantages des compteurs proportionnels, nous en avons réalisé un qui puisse remplacer dans certains cas la sonde β et, ayant les mêmes dimensions géométriques, puisse se placer dans le même support mécanique.

La figure (8) montre une coupe de ce compteur. Le corps du compteur est en duralumin : le diamètre extérieur est celui du photomultiplicateur 53 AVP 02, ce qui a conduit aux dimensions intérieures de ϕ 40 mm et hauteur 60 mm ; l'intérieur du compteur est parfaitement poli. Deux conduits verticaux ont été percés dans les parois pour la circulation du gaz de comptage. Le passage isolant et étanche a été réalisé en TEFLON avec joints toriques en VITON ; l'anode est une boucle de fil TOPHET C de $\phi = 0,04$ mm dont les deux extrémités sont fixées à l'extrémité arrondie d'une tige de $\phi = 1$ mm en laiton qui sert de conducteur THT à travers l'isolant en TEFLON. La partie inférieure du compteur a été réalisée de façon à recevoir une fenêtre amovible en mylar métallisé ($\sim 13 \mu$) tendue par une bague de blocage maintenue par un anneau de serrage en cuivre qui sert aussi de diaphragme au compteur.

L'amplificateur associé à ce compteur est un amplificateur 80 db à transistors [7] qui possède un gain nominal de 10 000, le facteur de non saturabilité étant pratiquement infini. Un soin tout particulier a été porté à la liaison entre cet amplificateur et le compteur proportionnel afin d'éviter tout parasite. La THT utilisée est une alimentation 5 000 V, 3 mA de haute stabilité.

Au cours des essais de ce compteur sous balayage de CH_4 pur divers faits expérimentaux ont été mis en évidence :

- la meilleure boucle semble avoir une largeur moitié de sa hauteur.
- la longueur du plateau du compteur augmente quand on rapproche la boucle de la fenêtre en mylar, puis il y a décharge.
- la sensibilité du compteur décroît rapidement près des parois du compteur ce qui amène à choisir une ouverture de diaphragme inférieure au diamètre réel du compteur (Fig. 9).

Les meilleures conditions de fonctionnement ont été obtenues avec une hauteur de boucle de 25 à 30 mm, une distance boucle-fenêtre de l'ordre de 5 mm et une ouverture du diaphragme en cuivre de ϕ 30 mm.

La figure (10) donne un exemple de palier : la longueur du plateau est de 500 volts avec une pente de l'ordre de 0,5 % / 100 volts, le milieu du plateau étant vers 3 000 volts.

Un tel compteur fonctionne de façon très satisfaisante depuis plusieurs années sans entretien particulier. La supériorité de la détection par compteur proportionnel sur la sonde β ne fait aucun doute ; il ne permet cependant pas, à cause de la finesse de sa fenêtre, de travailler sous vide ce qui augmente l'absorption résiduelle et la diffusion.

4 - MISE EN OEUVRE DES P. A. P. A. β mètres.

Il est nécessaire d'effectuer un certain nombre de mesures préliminaires sur l'appareillage que nous venons de décrire avant sa mise en routine.

4-1. Facteurs d'étalonnage.

Après avoir effectué les réglages du détecteur β et de sa chaîne électronique (palier, seuil et gain de l'amplificateur 80 db) deux étalonnages sont nécessaires : tout d'abord un étalonnage en position qui permet de connaître avec précision la distance séparant la source à mesurer du détecteur c'est-à-dire la détermination de l'angle solide de mesure (facteur G), puis un étalonnage en efficacité globale de détecteur (facteur C) à l'aide de sources étalon.

La mesure du facteur G s'effectue en plaçant le porte-source en position zéro (lecture de la règle graduée et du vernier cylindrique à 0) et en mesurant la distance source-détecteur soit au cathétomètre soit à la jauge de profondeur. Cette distance est à ajouter systématiquement aux lectures effectuées qui traduisent le déplacement de la vis micrométrique au 1/100. Les facteurs de géométrie G correspondants sont calculés par ordinateur en tenant compte du diamètre de la source et du diamètre utile du détecteur. Les erreurs sur ces facteurs tiennent compte :

- du décentrage dans le cas d'une source ponctuelle ou de l'erreur sur le diamètre dans le cas d'une source étendue.
- de l'erreur sur la distance source-détecteur.
- de l'erreur sur le diamètre utile du détecteur.

Pour l'étalonnage en efficacité globale (C) il s'agit, sans tenir compte de phénomènes internes à la source, de déterminer la proportion de rayonnement β qui est effectivement comptée sur l'échelle mesure. Ce facteur (C) groupe un certain nombre de facteurs qu'il est difficile d'atteindre séparément :

- diffusion dans les matériaux avoisinant l'axe source-détecteur et permettant à certaines particules parties de la source à l'extérieur de l'angle solide de mesure d'atteindre le détecteur tandis qu'inversement d'autres émissions dans cet angle ne l'atteignent point.

- probabilité pour qu'un rayon β atteignant le détecteur donne une impulsion électrique à la sortie de ce détecteur (soit PM soit compteur proportionnel),
- probabilité pour cette impulsion de franchir l'amplificateur 80 db.

Nous utilisons pour l'étalonnage en efficacité les sources étalons produites dans notre Service ; en général elles sont mesurées par des méthodes de coïncidences classiques [8] ou en compteur $4\pi\beta$.

Nous avons utilisé des radioisotopes couvrant une grande bande d'énergie :

^{60}Co - ^{46}Sc - ^{141}Ce - ^{204}Tl - ^{170}Tm - ^{91}Y - ^{86}Rb et $^{144}\text{Ce} + \text{Pr}$ soit de 0,3 MeV à 2,9 MeV environ.

Chaque source est mesurée plusieurs fois et on en déduit le facteur $C = \frac{\text{valeur étalon}}{\text{valeur PAPA } \beta \text{ mètre}}$ ce qui, en fonction de l'énergie maximum de l'élément considéré, permet de tracer la courbe $C = f(E_m)$. (Fig. 11).

Depuis la mise en service des P.A.P.A. β mètres les courbes d'étalonnage $C = f(E_m)$ se sont avérées identiques pour des appareils équipés du même type de détecteur β (sonde ou compteur proportionnel) mais ce type de courbe n'est valable que pour notre dispositif de mesure car il tient compte des effets d'environnement.

Remarquons par ailleurs que la même source mesurée à des distances différentes du détecteur donne bien des activités identiques aux erreurs de mesures près (5 à 6 %).

4-2. Exploitation de routine.

Six P.A.P.A. β mètres ont été réalisés à ce jour dont quatre sont exploités dans le même laboratoire par deux techniciens ; la figure 12 montre deux des quatre appareils installés dans nos laboratoires.

Lors d'une mesure l'opérateur doit décider de certaines conditions expérimentales :

a) Choix de la gamme d'absorbants à faire défiler ; comme nous l'avons vu (paragraphe 3-1) le plateau porte absorbants comporte 30 logements dans lesquels sont placés les absorbants en Al pur dont les poids ont été déterminés par pesée. Les valeurs des 15 premiers absorbants vont de 0 à 60 mg/cm^2 de 5 en 5, avec un absorbant "bruit de fond". Les valeurs des 15 autres absorbants vont de 75 à 285 mg/cm^2 de 15 en 15. L'absorbant supplémentaire + P de 200 mg/cm^2 permet de porter à quatre le nombre des gammes de mesures soit :

1ère gamme	n° 1 à 15	0 à 60 mg/cm^2
2e "	1 à 30	0 à 285 "
3e "	(1 à 15) + p	200 à 260 "
4e "	(1 à 30) + p	200 à 485 "

La gamme d'absorbants à utiliser pour la mesure d'un radioisotope donné est déterminée en fonction de son énergie maximum c'est-à-dire en fonction du parcours des β

dans l'aluminium. On considère alors les valeurs extrêmes de la partie rectiligne du spectre d'absorption tracé en papier semi-logarithmique.

Le tableau I donne quelques exemples de cette détermination expérimentale.

Dans le cas d'une source radioactive à impureté inconnue il est alors nécessaire de faire le spectre d'absorption en entier soit de faire défiler la deuxième et quatrième gammes d'absorbants.

TABLEAU I

Isotope	E_{Max} MeV	Partie rectiligne du spectre d'absorption	
^{32}P	1,7	de 15	à 135 mg/cm^2
^{46}Sc	0,357	5	35
^{60}Co	0,312	5	35
^{91}Y	1,55	35	185
^{45}Zr	0,370	10	50
^{97}Zr	1,42	90	210
^{99}Mo	1,23	30	245
^{111}Ag	1,02	15	125
^{112}Ag	3,89	300	480
^{143}Pr	0,93	15	125
$^{144}\text{Ce} + \text{Pr}$	2,17	200	400
^{147}Nd	0,720	20	125

b) Choix de la géométrie et du temps de mesure.

La géométrie (position de la source) et le temps de comptage sont déterminés en fonction de l'activité de la source obtenue sans absorbant. L'expérience a montré que des taux de l'ordre de 500 000 cpm sur l'échelle comptage étaient dans ce cas favorables à un tracé correct du spectre et à une bonne détermination de l'activité.

La position de la source étant choisie, le temps de mesure à afficher en prétemps en découle de façon à obtenir une bonne statistique de comptage : ce temps varie habituellement entre 1 et 15 minutes.

c) Exploitation.

L'opérateur ayant effectué les choix précédents qui font intervenir son expérience et les ayant concrétisés sur l'appareillage il ne lui reste plus qu'à appuyer sur le bouton "Marche" du tiroir programme pour que la série de mesures commence.

Pour chaque radioélément étudié il indique l'isotope considéré, les date et heure de la mesure, la position, le diamètre et le poids de la source, le nombre de spectres β considérés, enfin l'identification de la source et son appartenance à un certain lot. Ces renseignements complémentaires sont transformés en cartes perforées et joints à la bande provenant de la perforatrice TALLY : l'ensemble est traité par un ordinateur pour lequel un programme de calcul a été établi. Le calcul est effectué à l'aide des tables de données entrées en mémoire (table de correction de temps mort, de géométrie, de coefficients d'autoabsorption et autodiffusion ...) et à l'aide de tests permettant la suppression de mesures aberrantes. Le programme de calcul permet d'obtenir :

- le tracé du spectre d'absorption
- l'extrapolation à l'absorption nulle
- la pente de la droite expérimentale (pureté de l'isotope considéré)
- l'activité de l'isotope considéré en 4π à l'instant de la mesure
- l'activité de l'isotope considéré en 4π ramenée à un instant de référence précisé à l'avance pour un lot donné
- les erreurs sur ces valeurs, qui tiennent compte de toutes les erreurs partielles dues aux mesures et aux différents facteurs de correction (géométrie, autoabsorption - autodiffusion, schéma de désintégration, tracé de la droite d'absorption et extrapolation, etc. ...). L'activité est finalement connue avec une précision comprise entre 5 et 8 % selon les cas¹⁾.

L'exploitation de routine sur une période de trois ans a démontré que le fonctionnement des appareils réalisés était très satisfaisant :

- après une période de mise au point l'ensemble mécanique et l'électronique de commande fonctionnent sans ennuis.
- la reproductibilité des mesures est excellente et de l'ordre de $\pm 2\%$.
- les résultats obtenus par la méthode d'absorption avec P.A.P.A. β mètre sont concordants avec les résultats obtenus par d'autres méthodes de mesure ($4\pi\beta$ ou mesures par spectrométrie γ lorsque l'isotope est émetteur $\beta - \gamma$).

1) Des rapports ultérieurs exposeront :

- les corrections relatives aux mesures β en particulier l'autoabsorption et l'autodiffusion.
- le programme de calcul mis au point sur IBM 360-30 pour le traitement des bandes issues des P.A.P.A. β mètres.

5 - CONCLUSION.

Nous avons donc mis au point un appareillage de mesure permettant le relevé automatique du spectre d'absorption d'un élément émetteur β placé dans une enceinte étanche ce qui diminue les diffusions. A partir de ce spectre d'absorption on peut connaître la pureté et l'activité de la source considérée : les calculs se font par ordinateur qui traite les mesures codées sur bandes perforées.

Le système mécanique réalisé et couplé à un ensemble électronique à transistors fonctionnant en prétemps ou précoop permet l'avance pas à pas des absorbants répartis régulièrement sur 2 circonférences concentriques d'un plateau, en les interposant successivement entre la source et le détecteur. Ce dernier est soit une sonde PM soit un compteur proportionnel à boucle spécialement mis au point pour le P.A.P.A. β mètre.

L'exploitation de routine de ces appareils a démontré leur bonne fiabilité : de tels ensembles, permettant d'écouler un grand nombre de mesures de routine avec une précision de l'ordre de 5 à 8 % et une reproductibilité de l'ordre de 2 %, pourraient être très utiles dans beaucoup d'autres laboratoires qui ont à effectuer comme nous, un nombre important de mesures de radioéléments émetteurs β .

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] CELIER H., COLOMER J.
"Etudes de Sources Radioactives par Spectrométrie β .
Note CEA - N 645 - Juillet 1967.
- [2] STERNHEIMER R. M.
"Interaction of Radiation with matter"
In Methods of Experimental Physics : Volume 5 A Nuclear Physics.
Edited by LUKE C. L. YUAN. Academic Press 1961.
- [3] WU C. S.
"The interaction of Beta Particles with matter.
In Nuclear Spectroscopy p. 15-30. Edited by FAY AJZENBERG-SELOVE,
Academic Press 1960.
- [4] KNOP G., PAUL W.
"Interaction of Electrons α particles with matter".
In Alpha-Beta and Gamma-ray spectrometry - Vol. 1 - p. 1-36. Edited by
KAI SIEGBAHN, North-Holland Publishing Company 1965.
- [5] LEDERER C. M., HOLLANDER J. M., PERLMAN I.
Table of Isotopes, Sixth Edition - John WILEY and Sons, 1967.
- [6] VALENTIN M.
"Dispositif automatique pour l'analyse de sources émettrices de rayonne-
ment, notamment β '!
Brevet d'invention. n° PV 93 85 94 du 19 juin 1963.
- [7] LE DU R., MEITES J. D.
"Amplificateur transistorisé non saturable et à grand gain pour compteur
proportionnel associé à un générateur de temps mort"
Note CEA - N 548 - Novembre 1965

- [8] BENOIT P., PHILIS C.
"Sources étalons de radioactivité. Mesures absolues au moyen d'un
ensemble $4\pi\beta\gamma$ ".
Rapport CEA N° R 2711, Mars 1965.

Manuscrit reçu le 25 Février 1969

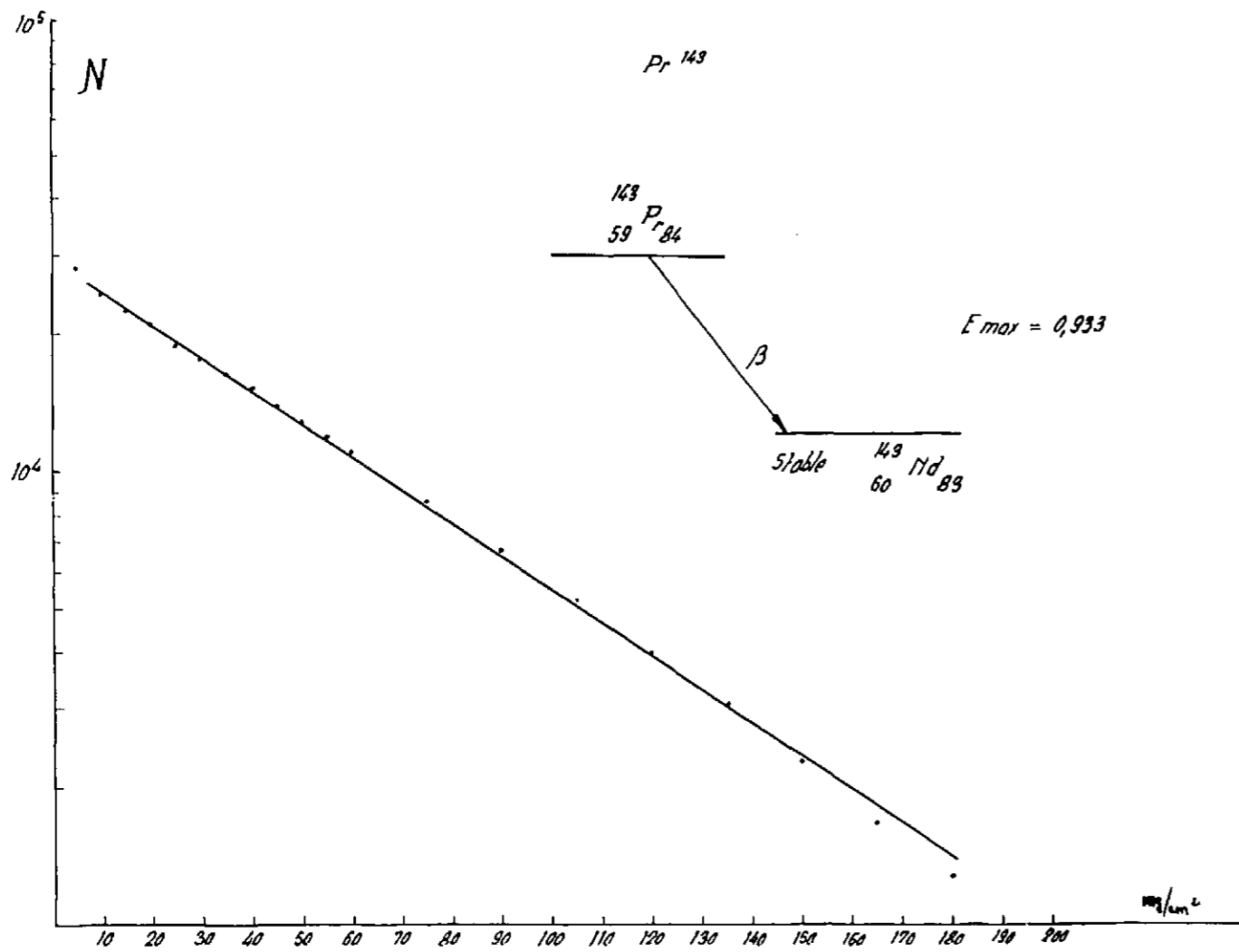


FIGURE 1 : Droite d'absorption pour le ¹⁴³Pr.

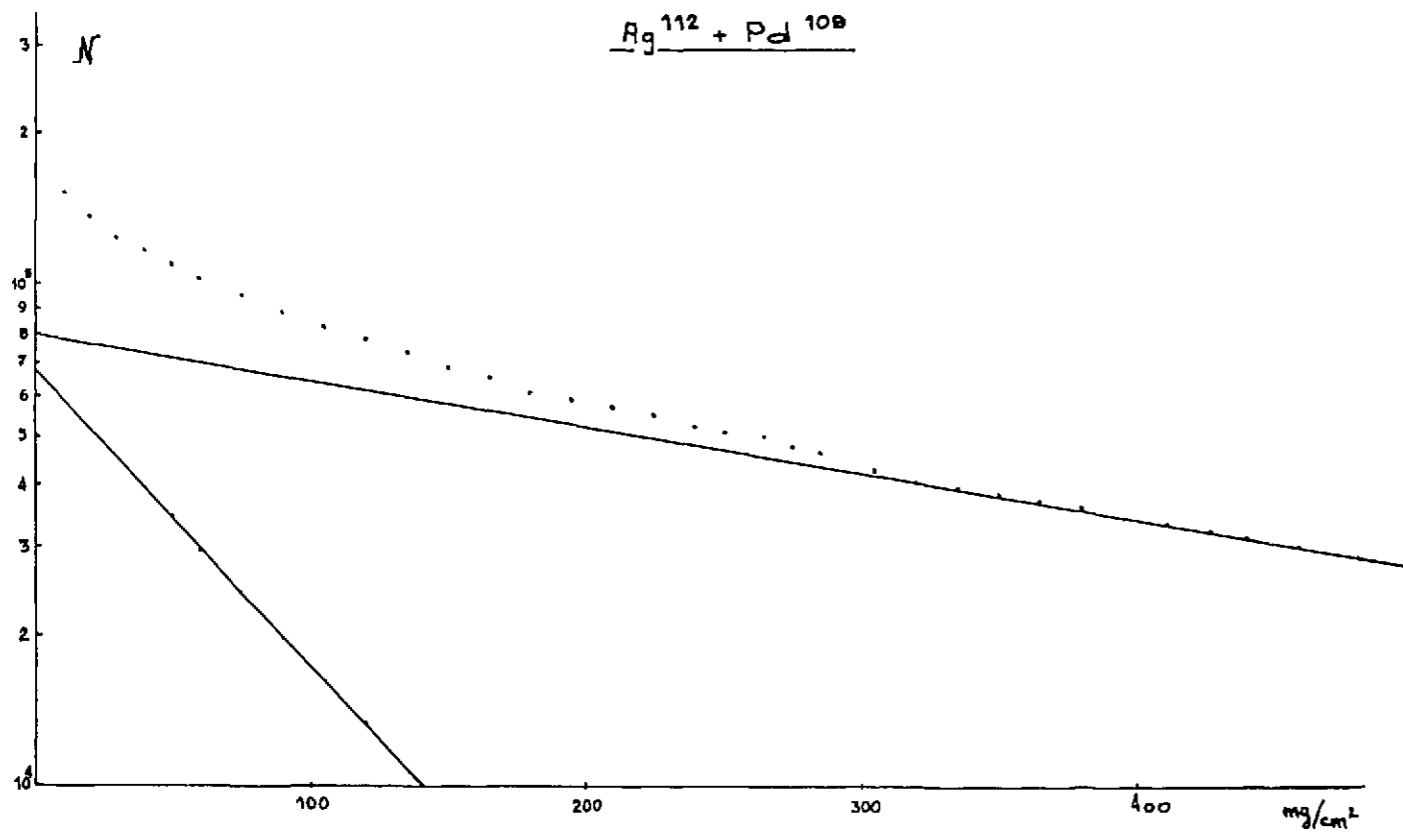


FIGURE 2 : Courbe d'absorption pour un mélange ¹¹²Ag et ¹⁰⁹Pd.

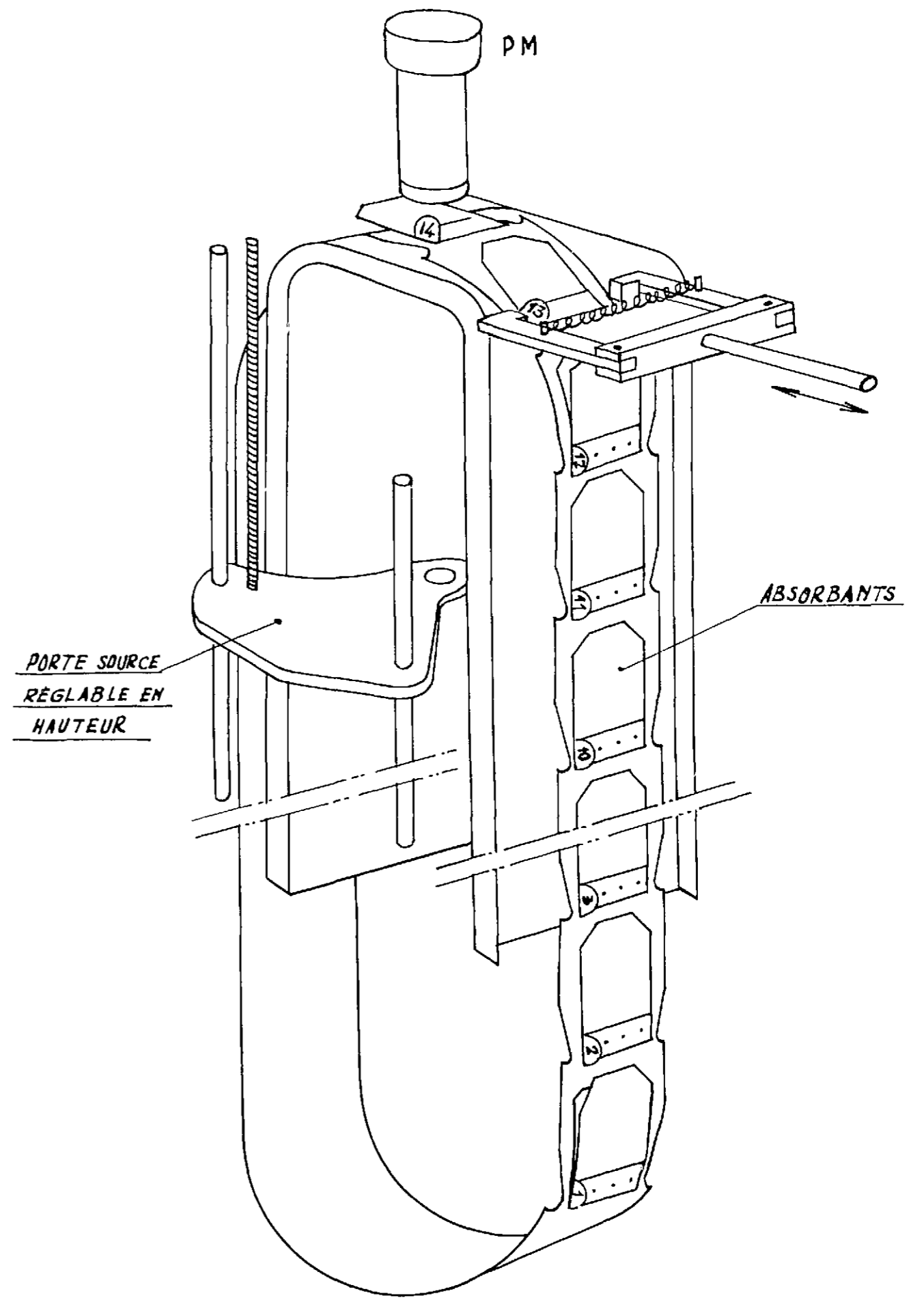


FIGURE 3 : Schéma du premier prototype de P. A. P. A. 3 mètre.

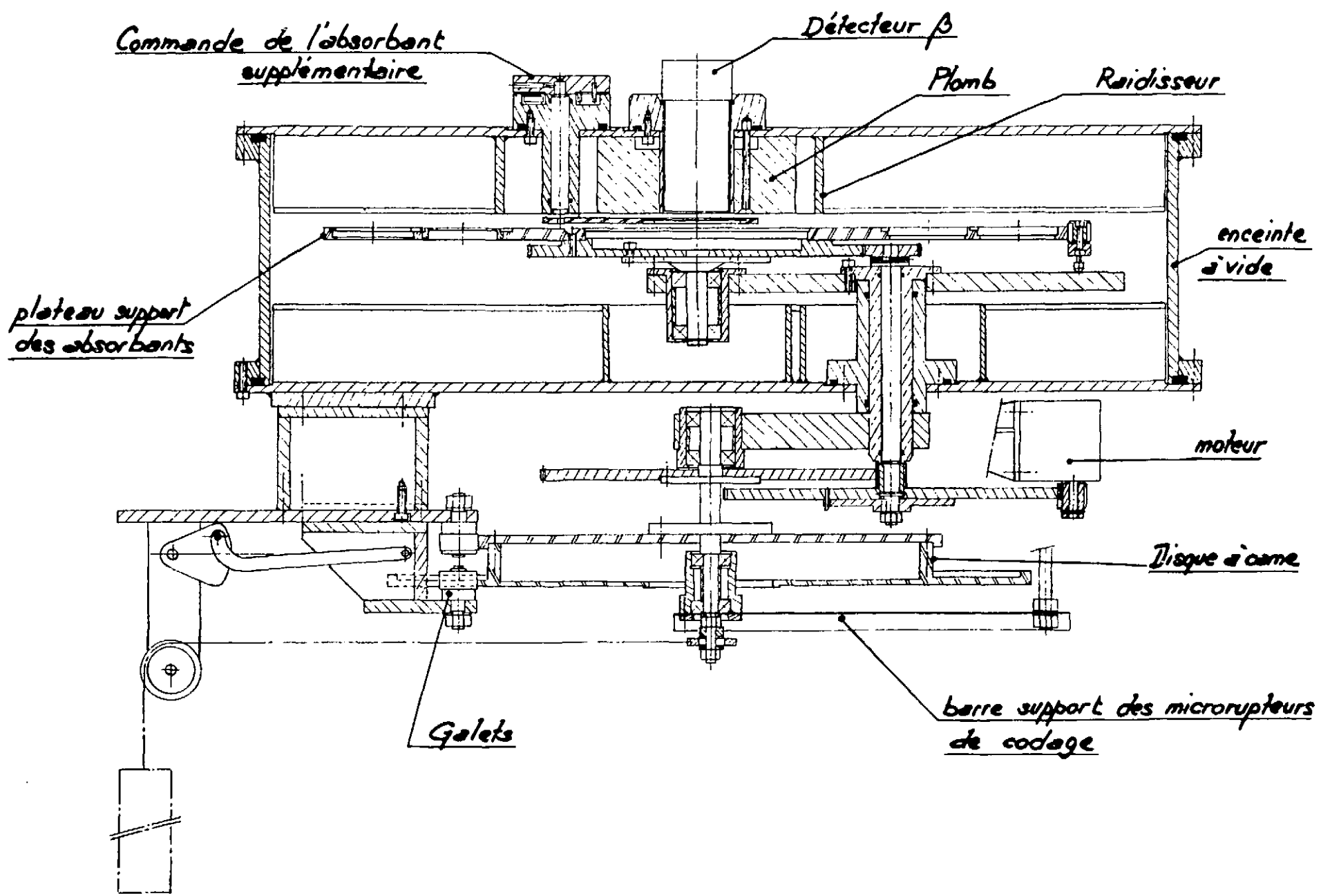


FIGURE 4 : Coupe d'un P.A. P.A. β mètre : la cuve et le système moteur.

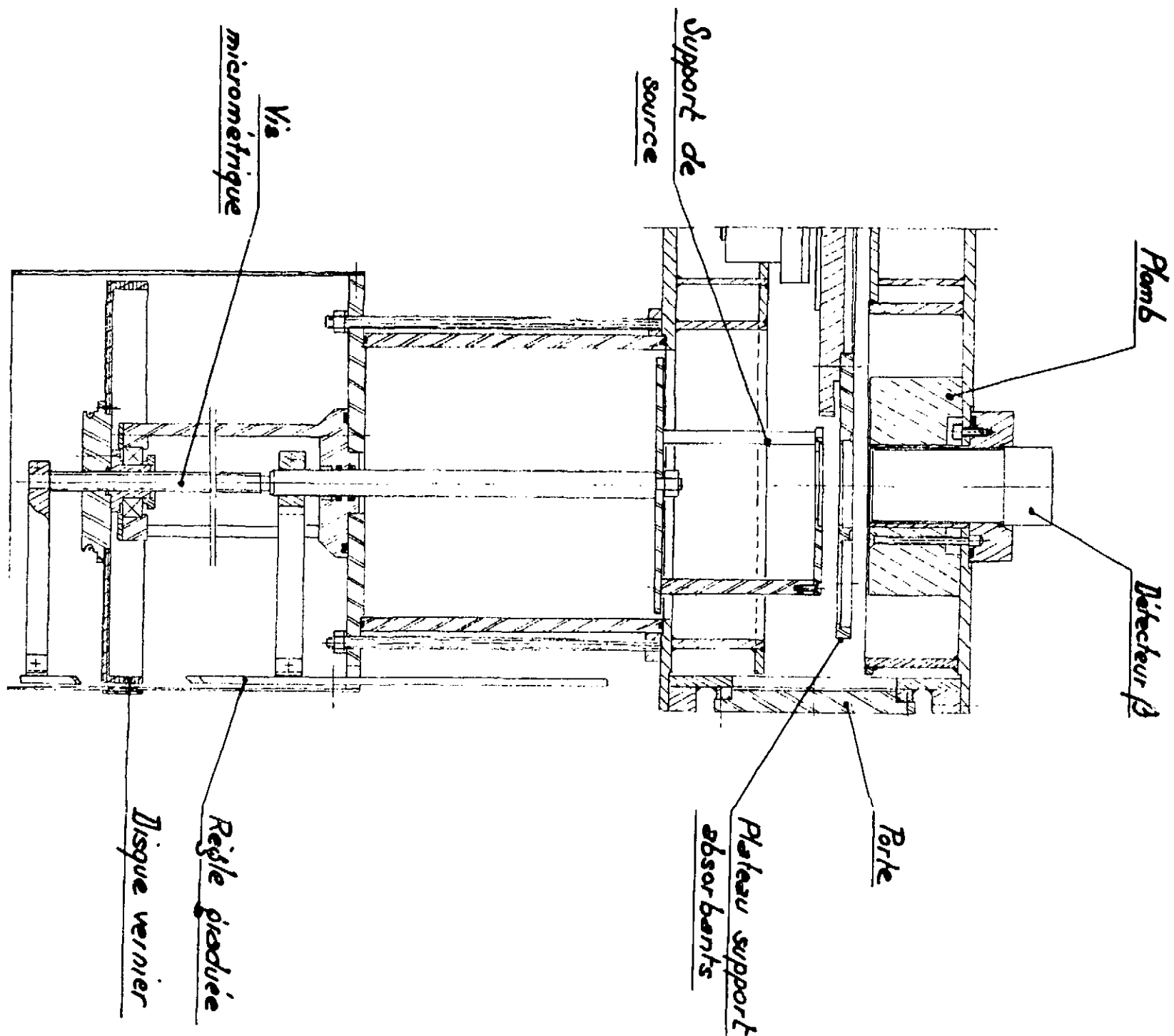


FIGURE 5 : Coupe d'un P.A. P.A. β mètre : la zone de mesure.

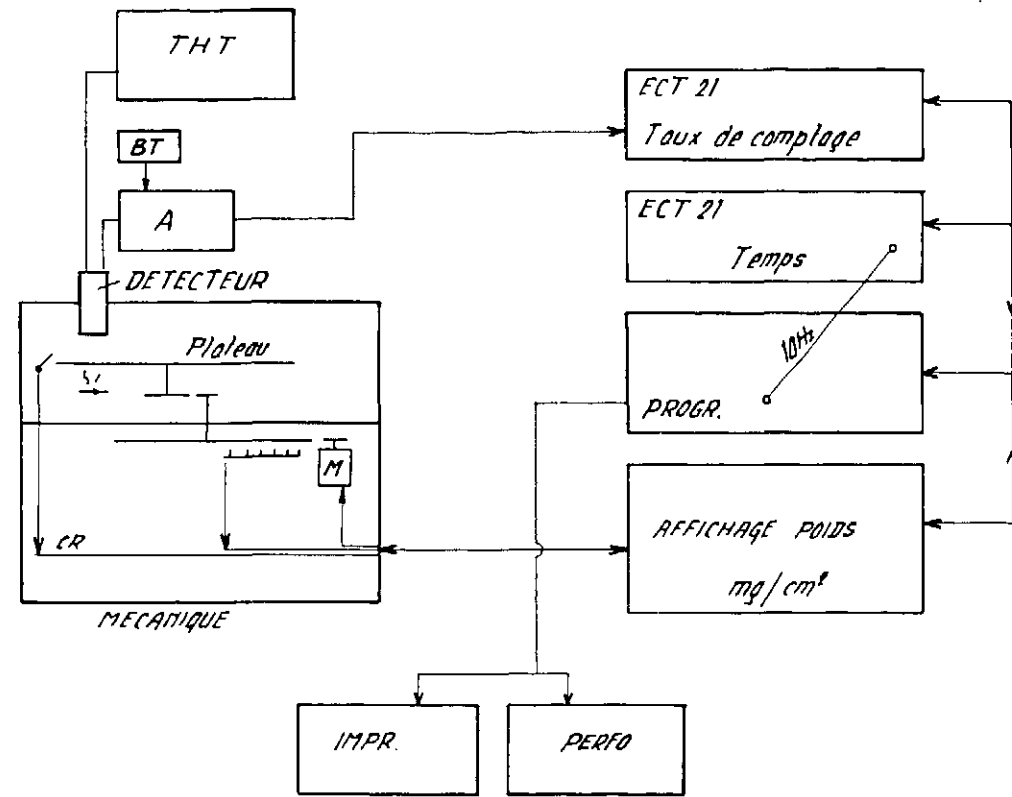


FIGURE 6 : Schéma synoptique de l'ensemble électronique.

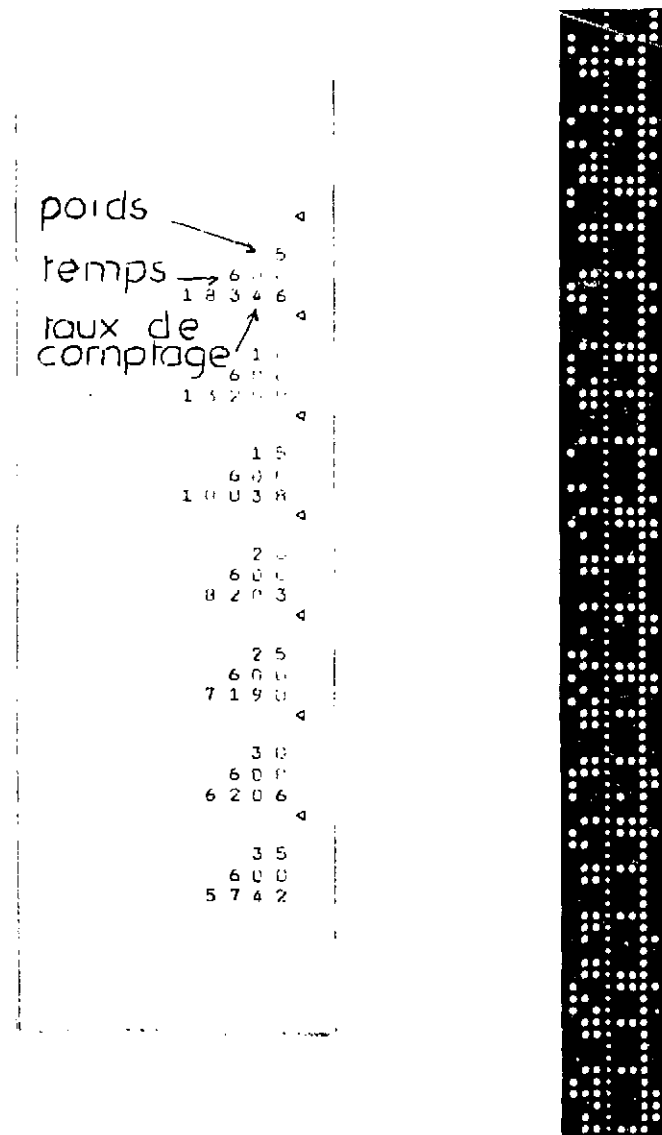


FIGURE 7 : Présentation des Résultats : Impression et Perforation .

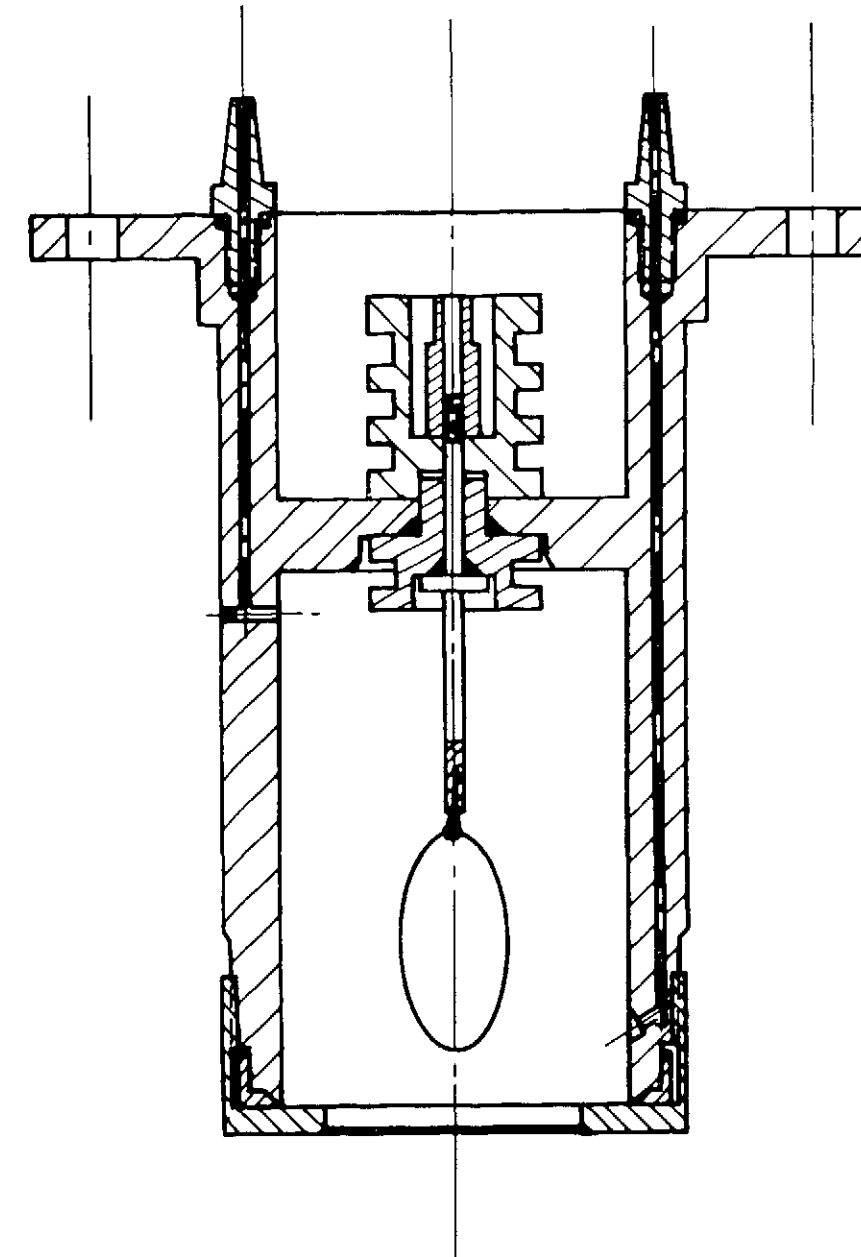


FIGURE 8 : Compteur proportionnel à boucle - Ech. : 1.

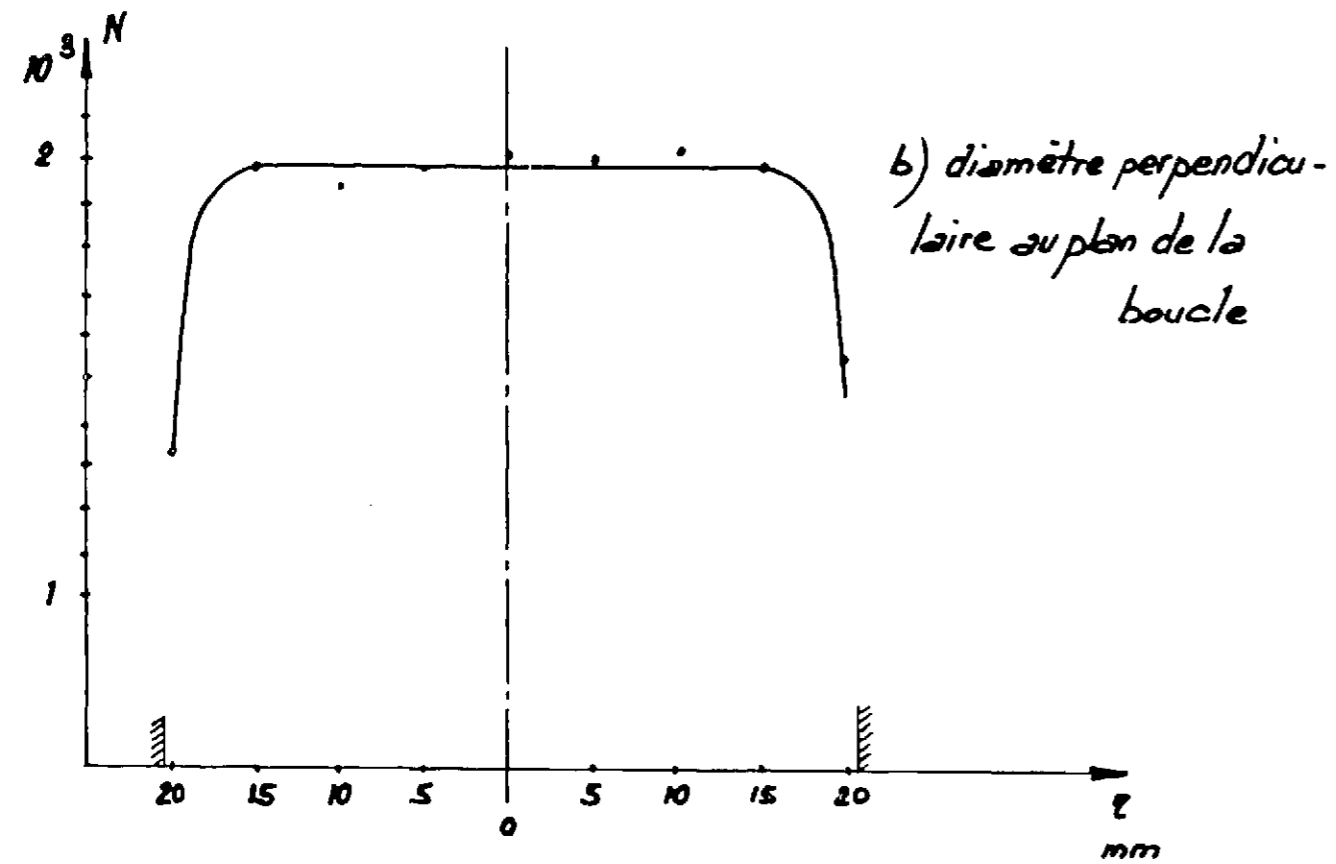
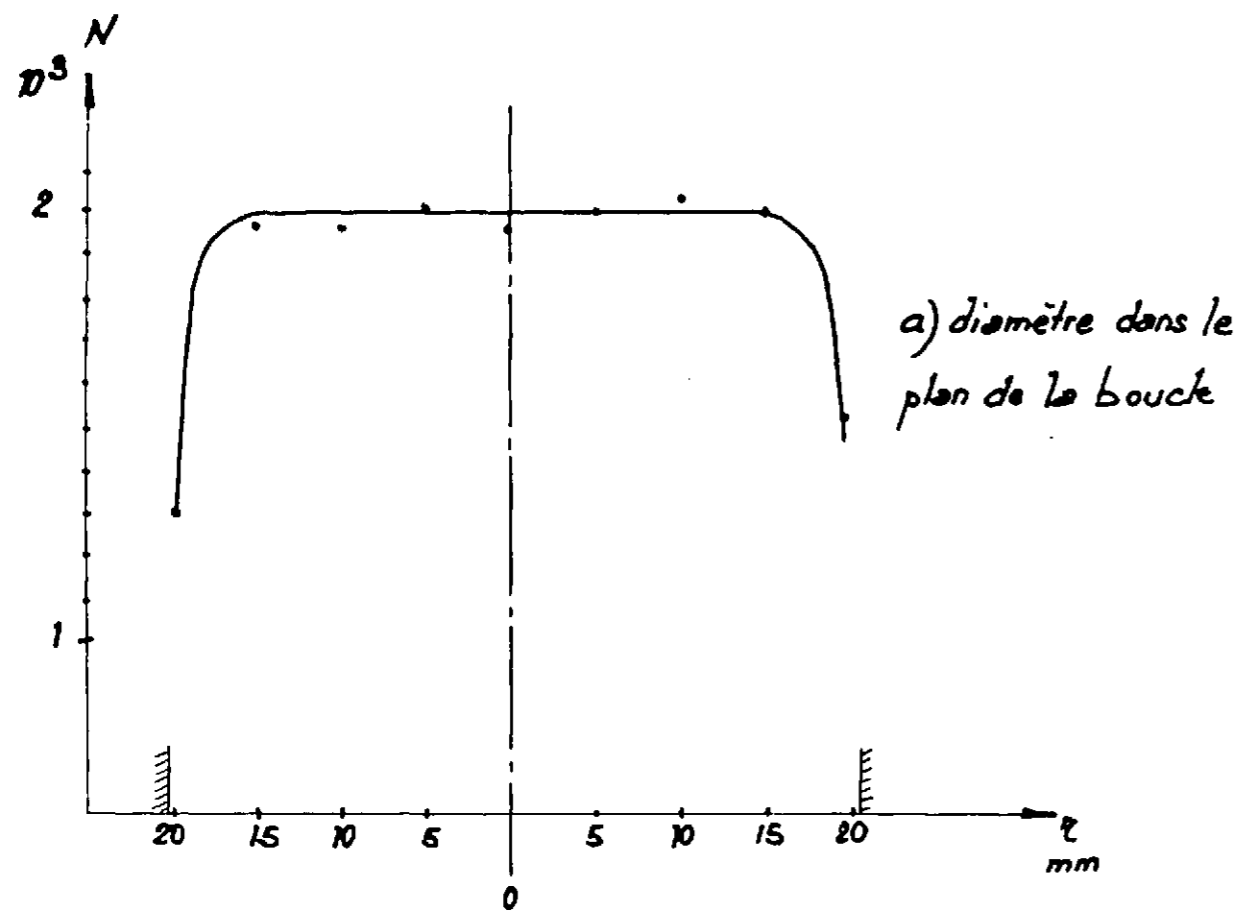


FIGURE 9 : Sensibilité du compteur à boucle suivant deux diamètres perpendiculaires.

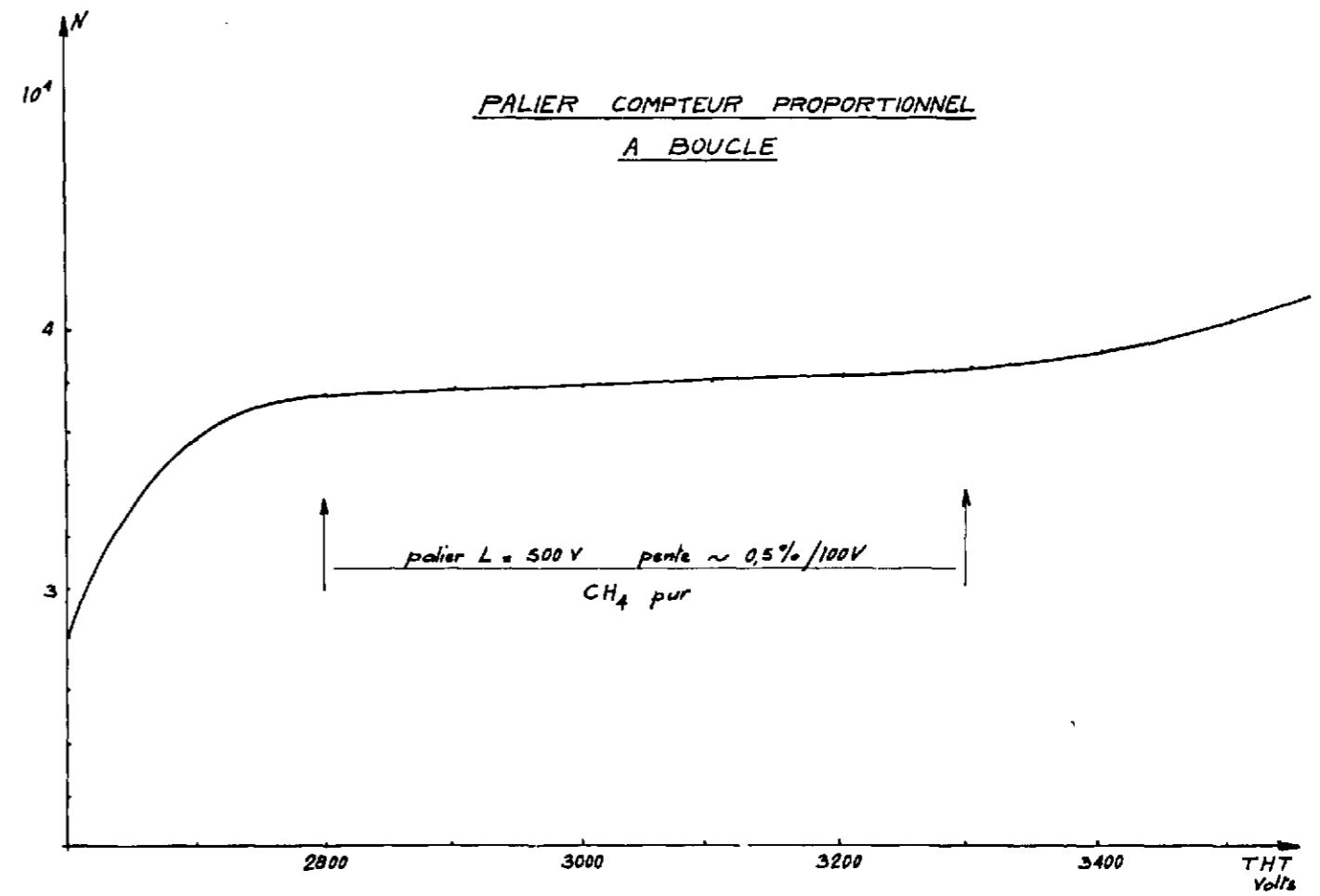


FIGURE 10 : Palier d'un compteur proportionnel à boucle.

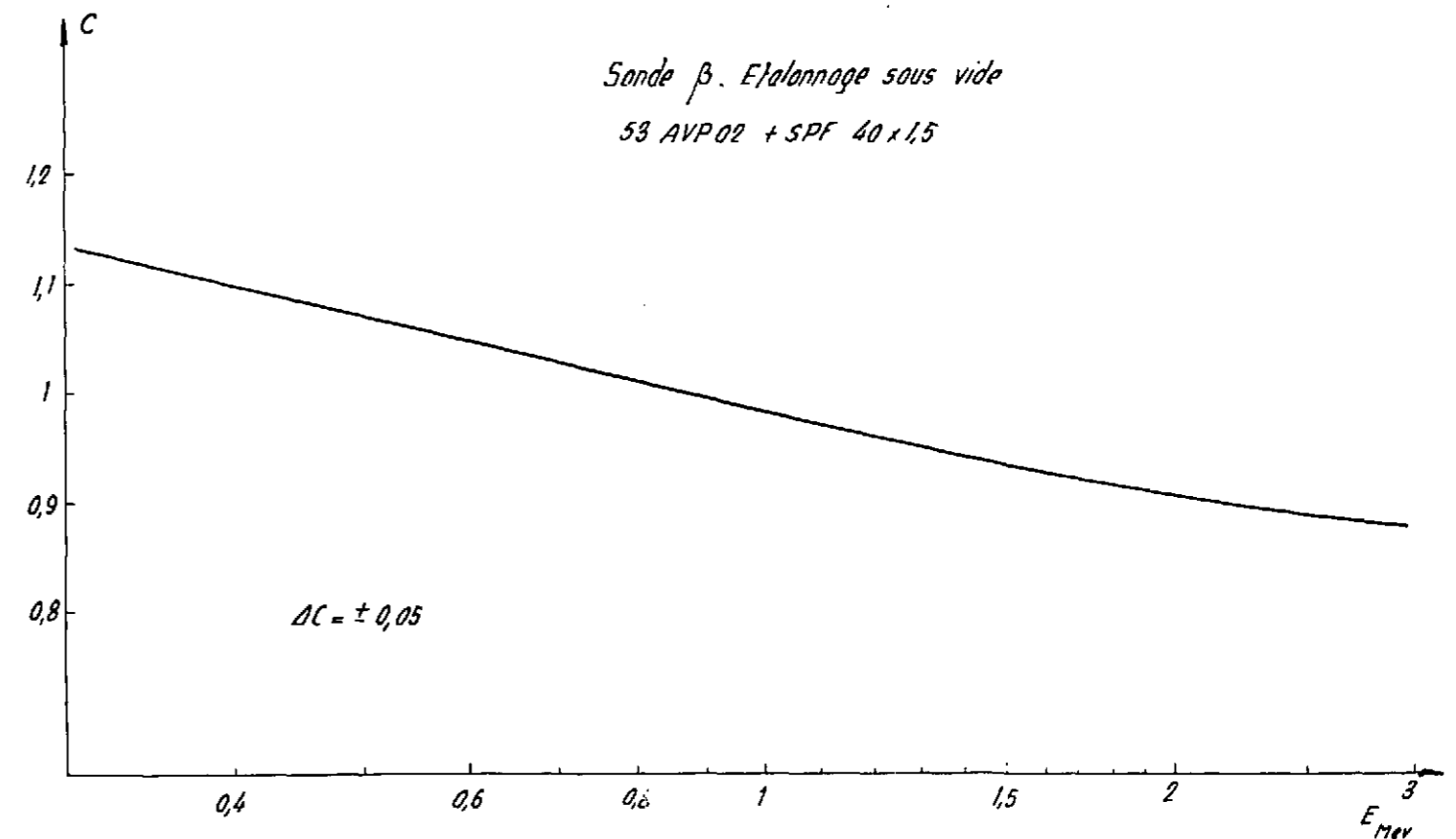


FIGURE 11 : Courbe d'étalonnage d'une sonde β fonctionnant sous vide.

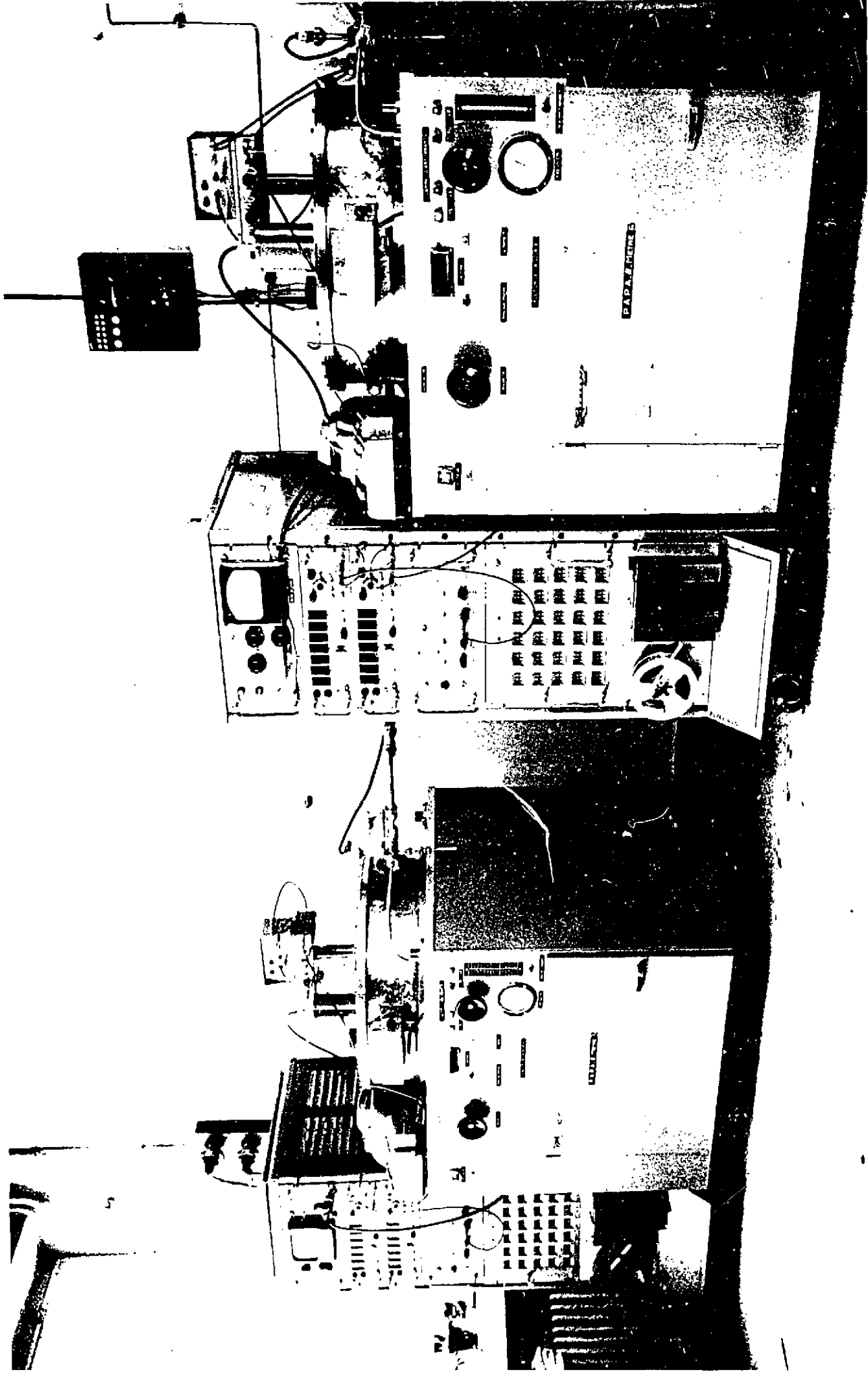


FIGURE 12 : Deux P. A. P. A. 3 mètres.

FIN