

EUR 2214.f

COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE ATOMIQUE - EURATOM

FABRICATION DES ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES ECO EN CARBURE D'URANIUM

par

J. BRIOLA et U. HEUBNER

1965



Programme ORGEL

Centre Commun de Recherche Nucléaire
Etablissement d'Ispira - Italie

Département des Matériaux
Service Métallurgie et Céramique

Manuscrit reçu le 5 novembre 1964

TABLE DE MATIERES

	Page
INTRODUCTION	5
1 - L'ELEMENT A 7 CRAYONS EN CARBURE D'URANIUM (désignation = UC-7)	7
2 - L'ELEMENT A 4 CRAYONS EN CARBURE D'URANIUM ET MATRICE GRAPHITE (désignation = UC-4)	11
3 - L'ATELIER DE FABRICATION	12
4 - FABRICATION DES ELEMENTS COMBUSTIBLES	18
5 - REMARQUES SUR CES FABRICATIONS	26
LISTE DES FIGURES	27



INTRODUCTION

Dans le courant de l'année 1962, le Département de Physique des Réacteurs a demandé au Service de Métallurgie d'étudier et de faire fabriquer des éléments de combustible en carbure d'uranium destinés à des mesures physiques dans le réacteur ECO. Ces éléments combustibles devaient se substituer partiellement aux éléments combustibles de référence en uranium métal qui à l'époque étaient en fabrication dans une firme allemande.

Ces éléments combustibles devaient répondre aux impératifs suivants :

1°) Etre très précis

2°) Avoir une grande souplesse d'utilisation et en particulier autoriser différents assemblages.

Il fallait en somme, à partir de crayons gainés, réaliser un "meccano" de précision.

Le choix des physiciens se porta sur deux diamètres différents de barreaux de carbure (\varnothing 25,2 et 30,9) qui devaient être gainés en crayons de 3 mètres de longueur.

L'élaboration des 7 tonnes de carbure d'uranium nécessitées par cette fabrication fût confiée, après appel d'offre, aux deux fournisseurs qui, à l'époque étaient en mesure, en EUROPE, de participer à ce travail : la firme NUKEM en Allemagne

" " CICA F en France

Le gainage et l'assemblage des éléments combustibles posaient, par contre, un problème plus difficile à résoudre.

On pouvait en effet difficilement imaginer de confier ce travail à l'un des fournisseurs précités ou même à un troisième; la réception et le contrôle de l'UC, pour ne citer que ce point, auraient été très difficiles et auraient nécessités la présence permanente de techniciens du Service Métallurgie et Céramique. En outre, il semblait souhaitable, particulièrement dans la perspective du réacteur ESSOR, de former à ISPRA, une équipe capable de réaliser des éléments combustibles.

Pour ces différentes raisons, le S.M.C., en accord avec le projet ORGEL, décida en octobre 62, de procéder à ISPRA, à la réception de l'UC et au gainage et assemblage des éléments combustibles.

Ce travail impliquait la création d'un atelier-pilote complémentaire qui serait installé dans un bâtiment du S.M.C., bâtiment dont la construction avait été commencée puis stoppée après le gros oeuvre.

Le but à atteindre était de livrer au réacteur ECO le premier jeu d'éléments en carbure d'uranium au mois de mai 1964. En fait, de nombreux retards, principalement dans la finition du bâtiment, ne permirent de respecter ces délais.

Nous dûmes cependant commencer à travailler bien avant la finition totale de l'atelier afin d'éviter l'engorgement complet des capacités de stockage des barreaux de carbure dont la livraison avait commencé en octobre 63.

Brièvement les différentes étapes de ce travail ont été les suivantes :

- | | |
|----------------|--|
| - Octobre 62 | - décision de créer un atelier-pilote |
| - Février 63 | - déblocage crédit pour achat machines |
| - Printemps 63 | - reprise des travaux intéressant le bâtiment. |

- De février à juin 63 - commande des machines et matériels...
- Janvier 64 - début implantation des machines
- Avril 64 - début du travail de gainage.

Actuellement (novembre 64) l'assemblage du premier jeu est terminé et le gainage du second jeu est en cours.

Ce rapport sera constitué de la façon suivante :

- 1 - Description de l'élément UC à 7 crayons
- 2 - " " " UC à 4 crayons
- 3 - " de l'atelier-pilote et des installations
- 4 - Fabrication des éléments combustibles.

1 - L'ELEMENT A 7 CRAYONS EN CARBURE D'URANIUM (désignation = UC-7)

(voir plan I-V-00500 ci-joint)

L'élément UC-7 se présente sous la forme d'une grappe à 7 crayons de carbure d'uranium gainés en aluminium, d'une longueur de 3 mètres environ. Cette grappe est entourée par deux tubes concentriques simulant le tube de force et le tube de calandre d'un réacteur type ORGEL (eau lourde - organique).

- Caractéristiques de l'élément UC-7 :

- Combustible

Carbure stœchiométrique ($4,75 \% \pm 0,2$) densité = $d \geq 99,5$ th
fondu à l'arc.

livré sous forme de barreaux cylindriques complètement usinés
par rectification de diamètre = $25,2 \pm 0,02$.

Longueur variable de 50 à 150 mm.

**

- Gainage

Aluminium 99,5 nucléaire

fourni par la V.D.M. sous forme de tubes de 3 mètres de
longueur :

$$\left[\begin{array}{l} (\text{Fe} + \text{Si}) \leq 0,4 \% \\ \text{B} \leq 0,001 \% \end{array} \right]$$

$$\varnothing \text{ int.} = 25,5 \pm 0,05$$

$$\text{épaisseur} = 1 \text{ mm.} \pm 0,07$$

- Crayons gainés

Longueur combustible = $2900 \pm 1,5$ mm.

Les crayons sont fermés par deux bouchons massifs en aluminium
99,5 soudés sous argon - le bouchon supérieur comporte un
trou borgne fileté dans lequel se visse le goujon d'accrochage
en acier inoxydable 18/8

-A chaque bouchon, la gaine est sertie dans une gorge, par
formage magnétique.

** voir rapport ultérieur Mr. LUCAS

- Montage de la grappe

Les crayons terminés, et munis de leur goujon en acier inoxydable, peuvent être montés de différentes manières selon les désirs des physiciens :

A - montage à 7 crayons

4 montages sont possibles :

- écartement des crayons de 1 mm.	}	x' sans pièces de remplissage
" " " de 2 mm.		
" " " de 3 mm.		
de 2 mm.		avec pièces de remplissage en magnésium.

B - montage à 4 crayons

Rien n'a été fabriqué pour ce montage pour lequel toutes les possibilités existent.

En plus, les grappes peuvent être ou non munies du tube de calandre.

Il a donc fallu préparer, indépendamment des crayons gainés, plusieurs séries de pièces de montage comprenant entre autres :

- les remplissages, longues tiges triangulaires en alliage magnésium-zirconium (Mg. avec $0,45 \pm 0,15$ % Zr - TREFIMETAUX - France).

- les grilles (2 types différents) en acier inoxydable (acier 18/8 type 304 L norme DIN 4304).
- les tiges et têtes d'accrochage en acier 18/8 type 304 L norme DIN 4304.
- les pièces d'écartement en aluminium 99,5 %, etc...
- les tubes de calandre et de force (2 types différents) en aluminium 99,5 %.
- les ogives supérieures de protection en duraluminium.

Cette nécessité de montages et démontages aisés, nous a imposé un mode de construction assez particulier. Les crayons d'une longueur de trois mètres sont munis à leur extrémité supérieure d'un solide goujon en acier inoxydable fixé définitivement et que l'on vient boulonner aux différentes grilles d'accrochage. Pour cela, la jonction gaine-bouchon exécutée par soudage sous argon, est renforcée par un sertissage de la gaine dans une gorge du bouchon. Cette opération, effectuée par formage magnétique, conserve intacte, toute l'épaisseur de la gaine. L'écartement entre crayons étant variable, des espaceurs spéciaux ont été étudiés, qui permettent un passage facile d'une dimension à l'autre. Enfin, les crayons sont maintenus en faisceau grâce à des anneaux en aluminium mince faciles à mettre en place au moyen de pinces spéciales (voir fabrication).

2 - L'ELEMENT A 4 CRAYONS EN CARBURE D'URANIUM ET MATRICE GRAPHITE

désignation = UC-4

(voir plan I-V-10010 ci-joint et modification 2-V-10023)

Cet élément combustible se compose :

- de quatre crayons de gros diamètre (\varnothing UC = 30,9)
- de quatre tubes minces (0,5 m) en aluminium contenant le liquide organique et enveloppant chaque crayon
- d'une matrice fractionnée en graphite nucléaire contenant ces tubes et d'un gros tube extérieur simulant le tube de calandre d'un réacteur ORGEL.

Les crayons sont accrochés à une grille en acier inoxydable et sont centrés à l'intérieur des tubes minces par un fil en aluminium enroulé en hélice.

Les tronçons de matrice (20 par élément) sont suspendus à la grille supérieure par une tige en aluminium.

- Caractéristiques de l'élément UC-4

- Combustible

Carbure stœchiométrique fondu à l'arc et usiné au diamètre = $30,9 \pm 0,02$ - Longueur combustible = 2900 mm.

- Graphite

Graphite nucléaire - densité = $1,7 \pm 0,05$ -
Section efficace = $4,5 \pm 0,3$ millibarn pour neutrons 2200 m/s.,
fourni par la Société SAVOIE ACHESON sous forme de matrices usinées d'une longueur de 145 mm. (voir dessin 3-V-10136).

Pour toutes les caractéristiques des matériaux, se reporter à l'élément UC-7.

3 - L'ATELIER DE FABRICATION

L'atelier-pilote de fabrication des éléments combustibles est situé au premier étage du bâtiment intermédiaire du Service de Métallurgie.

Cet atelier comprend : (voir plan n° 1-V-10172)

- un atelier de mécanique conventionnel
- un hall de montage des éléments combustibles
- une salle de décapage
- une salle de mise en gaines
- une salle de détection des fuites par ressuage hélium
- des locaux annexes : bureaux, chambre noire...

Cet atelier qui couvre une surface de 340 m^2 , est actuellement organisé pour le gainage et l'assemblage d'éléments combustibles en carbure d'uranium gainé aluminium.

3.1. - Atelier mécanique

Cet atelier est équipé d'un tour, d'une scie à main et des différents outillages classiques.

3.2. - La salle de défraissage et décapage

Ces installations peuvent dégraisser et décaper des pièces d'un encombrement maximum de $3 \times 0,50 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$.

Etant donné la faible hauteur du plafond, les différents baigns ont dû être disposés horizontalement.

Ces installations se composent :

- d'un poste de dégraissage au perchloréthylène en phase liquide ou vapeur (charge minimum = 600 Kg. de perchloréthylène)
- d'un groupe de 5 cuves dont 3 chauffantes d'une contenance de 450 litres destinées au décapage alcalin (soude caustique) et acide
- d'une cuve pour décapages spéciaux provoquant de forts dégagements de fumées et le brillantage de l'aluminium.

Cette cuve comporte, en plus des aspirations latérales existant sur les autres cuves, une hotte d'aspiration. Les vapeurs qui sortent de ce bain, passent dans une tour de filtration placée sur le toit de l'atelier, où elles sont lavées, neutralisées et absorbées sur du charbon actif.

La puissance électrique de chauffage de l'installation de dégraissage est de 10 Kw et permet en 1h. d'atteindre la température de 130°C. Les autres cuves chauffantes ont chacune une puissance de 6 Kw qui leur permet d'atteindre la température de 70° C en 2h.

Cet ensemble a donné satisfaction. La salle comprend en outre une petite installation de déminéralisation de l'eau sur résines échangeuses d'ions.

Enfin, un monorail placé au-dessus des bains permet une manipulation commode des grosses pièces à décapier.

3.3. - La salle de mise en gaines

Afin de rendre le travail des ouvriers, obligés de porter des vêtements de protection, moins pénible, particulièrement en été, cette salle a été complètement climatisée; grâce à ce conditionnement, une légère dépression est maintenue dans la pièce, ce qui évite aux poussières d'être expulsées à l'extérieur.

En cas de non fonctionnement du conditionnement, il a été prévu un appareil de déshumidification de l'air.

Cette salle comprend en outre :

- 1 palan permettant de manipuler les containers de carbure d'uranium
- 2 tables installées pour le contrôle de la longueur de l'empilement des barreaux d'UC
- 1 table de remplissage comportant 3 gouttières en laiton. Sur ces gouttières sont disposés les barreaux de carbure qui sont ensuite poussés à travers des ouvertures pratiquées dans une fenêtre en plexiglas dans les gaines placées dans la salle de montage.
- des tubes pousseurs permettant d'introduire les cylindres d'UC dans les gaines. Au travers de ces tubes, on aspire en permanence, les poussières abrasives qui peuvent se détacher des barreaux d'UC au moyen d'un aspirateur de 275 Watt. L'air aspiré est filtré deux fois sur des filtres SCHNEIDER-POELMANN (voir schéma). Au fond du récipient du premier filtre, se trouve un peu d'huile de machine. Les poussières entraînées dans le courant d'air tombent dans cette couche d'huile et sont protégées de cette façon contre toute oxydation; le second filtre constitue une sécurité.

Cette salle comprend en outre, un aspirateur de nettoyage et du petit outillage pour le démantèlement des éléments défectueux.

3.4 . - Le hall de montage

Cette salle est la plus grande de l'atelier. On y trouve, entre autres : un four de séchage, une installation de soudage, un appareil de formage magnétique et les installations pour le montage des grappes. Dans cette salle sont stockés provisoirement les crayons et les grappes terminés.

L'installation de soudage comprend : un générateur tous courants, un équipement pour le soudage sous argon et une tournette sur laquelle sont placés les éléments combustibles à souder. Cette tournette qui peut également servir à la mise à longueur de l'élément avant soudage, comporte deux gammes de vitesses :

- 1) réglage continu de 2 tours/m. à 18 tours/minute pour longueur.
- 2) réglage continu de 80 à 1.000 tours/m. pour la mise à longueur.

Le four de séchage infrarouge peut sécher 6 tubes de 3 m de longueur. Ces tubes sont installés autour d'un arbre tournant et peuvent être portés à 150° C au moyen de 11 éléments infrarouges d'une puissance totale de 11 Kw. Un ventilateur peut souffler de l'air dans les tubes.

L'appareil de formage magnétique (type MAGNETFORM Mark I de la General Dynamic's) est utilisé pour renforcer les extrémités des éléments combustibles par sertissage magnétique de la gaine dans une gorge usinée sur les bouchons. De nombreuses autres utilisations sont possibles dans le cadre de la fabrication d'éléments combustibles (voir rapport interne EURATOM N° 493 - juillet 63 de Mr. VEAUX).

Les installations destinées à l'assemblage des grappes combustibles comprennent actuellement un échafaudage spécial auquel la grappe en montage est accrochée, une passerelle de travail, un "palan" et divers outillages spéciaux dont les plus importants sont les pinces permettant de serrer les anneaux de cerclage en aluminium des éléments combustibles.

Les crayons terminés sont stockés, soit sur des étagères métalliques, soit sur pièces de bois recouvertes de mousse de caoutchouc. Les étagères métalliques permettent le transport des éléments, soit au pont roulant, soit avec un chariot.

Enfin, le hall de montage est équipé d'un monorail de 500 Kg. à 2 palans, permettant le transport des grappes terminées.

3.5. - L'installation de détection de fuites par ressuage d'hélium

Cette installation, placée dans une salle spéciale permet la vérification de l'étanchéité des gaines et en particulier des soudures des éléments combustibles terminés.

Cette installation se compose de 2 parties :

- Dans la première, les éléments à tester sont placés dans des containers sous pression d'hélium (30 à 35 Kg.) pendant un temps assez long (quelques heures). S'il existe une fuite, l'hélium pénètre à l'intérieur de l'élément combustible.
- Dans la deuxième partie, les éléments au préalable mis sous pression sont placés dans une **enceinte** sous vide. L'élément non étanche restitue (ressue!) l'hélium absorbé qui est détecté par le spectromètre de masse connecté à l'enceinte sous vide. La valeur de la fuite peut être, de cette façon, connue avec précision. Les containers de mise en pression et de détection sont placés verticalement et peuvent recevoir actuellement des éléments jusqu'à \varnothing 95 mm. et 3100 de longueur.

Cette installation a été fournie par la Société Générale du Vide.

4 - FABRICATION DES ELEMENTS COMBUSTIBLES (voir schéma de fabrication)

4.1. - Matériaux

Les différents matériaux destinés à la fabrication des éléments combustibles, nous sont livrés sous la forme suivante :

Carbure d'uranium : Les barreaux de carbure nous sont livrés en containers spéciaux par la Section "Combustibles céramiques". Ces barreaux ont été réceptionnés, contrôlés et traités thermiquement. Ces containers sont ouverts dans la salle de mise en gaine et contiennent la longueur totale de barreaux nécessaire pour remplir 1 ou plusieurs crayons combustibles.

Aluminium 99,5 % :

- demi-produits :

tubes de gaine
barres destinées à constituer les bouchons
tubes divers pour anneaux, etc...
fils, plaques...

- tubes terminés :

tubes de force et tubes de calandre sont livrés complètement terminés et prêts au montage.

Magnésium :

Les barres destinées à constituer les remplissages sont livrées brutes de filage.

Acier inoxydable :

- demi-produits :

barres destinées à l'usinage des différentes pièces mécaniques (grilles, tiges, etc...); après réception, contrôle et usinage éventuel, les pièces subissent un traitement de dégraissage et décapage (voir paragraphe 4.4 : Contrôle).

4.2. - Dégraissage et décapage - procédés

4.2.1. - Pièces en aluminium

- Dégraissage au trichloroéthylène chaud
- Décapage 2 minutes dans une solution de soude caustique à 14 % à 70° C
- Rinçage à l'eau courante
- Neutralisation à l'acide nitrique étendu (2 volumes d'eau)
- Lavage à l'eau courante
- Séchage à l'air chaud

(Les tubes de calandre et tubes de force préparés par la firme HERAEUS ont été traités de manière analogue : dégraissage à l'acétone, décapage rapide dans une solution de soude à 10 % à 50° C - lavage - neutralisation avec acide nitrique à 5% - lavage à l'eau - lavage à l'alcool et séchage à l'azote).

4.2.2. - Pièces en acier inoxydable

- Dégraissage au trichloréthylène chaud
- Décapage 10 minutes dans la solution suivante (en volumes):
10 % NO_3H , 1 % FH, le reste étant de l'eau
- Rinçage à l'eau courante
- Séchage à l'air chaud

4.2.3. - Pièces en magnésium

- Dégraissage au trichloréthylène
- Lavage à l'eau courante
- Séchage à l'air sec.

Après ces opérations de décapage, les différentes pièces sont manipulées obligatoirement avec des gants de coton blanc.

4.3. - Fabrication des crayons combustibles

Après dégraissage, les tubes de gaine sont mis à longueur (longueur définitive + 10 mm.) - L'usinage se fait sous alcool et toutes les parties du tour, en contact avec les tubes, sont dégraissées. Les tubes et les bouchons correspondant au travail d'une journée, sont ensuite décapés simultanément (voir paragraphe 2).

L'un des bouchons est ensuite soudé et le remplissage avec les barreaux de carbure d'uranium est exécuté. La longueur combustible totale (2900 mm. \pm 1) est contrôlée avant remplissage à l'aide d'un montage spécial et chaque barreau, repéré par un chiffre, est introduit selon un ordre prévu sur la fiche d'accompagnement. De cette façon la position exacte des barreaux est connue dans chaque crayon combustible. Le remplissage est effectué à l'air. Les poussières pouvant résulter du frottement des barreaux dans les tubes sont évacuées immédiatement, le tube de poussée étant relié au dispositif d'aspiration.

Il est apparu, au cours de la fabrication, que la différence nominale de 0,3 mm. entre le diamètre des barreaux de carbure ($25,2 \pm 0,02$ ou $30,9 \pm 0,02$) et le diamètre intérieur des gaines ($25,5 \pm 0,05$ et $31,2 \pm 0,05$) était indispensable pour éviter tout déchet au remplissage. Après une manipulation de 5 tonnes environ de barreaux, on peut noter le résultat suivant concernant le remplissage:

- 39 % des barreaux sont "difficiles" à introduire
- 55 % " " " assez "difficiles" à introduire
- 6 % " " " "faciles" à introduire

"Difficile" signifie que le barreau commence à coincer dans le tube et qu'il faut le forcer pour le faire pénétrer, ce qui implique un danger de dégradation du barreau. Cependant, dans la plupart des cas, cette dégradation a pu être évitée.

"Facile" signifie que le barreau coulisse librement dans le tube. Il convient de noter que cette difficulté plus ou moins grande d'introduction est indépendante de l'origine des barreaux (NUKEM ou CICAF).

Après remplissage, la longueur totale de l'empilement de barreaux est mesurée à nouveau à l'aide d'une jauge de profondeur (par différence entre la longueur totale connue du tube et la longueur libre après introduction du dernier barreau) et est comparée à la longueur mesurée avant introduction.

En effet, des poussières de carbure peuvent se glisser entre les faces de deux barreaux et augmenter ainsi la longueur totale de l'empilement. Cet inconvénient étant difficile à éviter complètement, il a été décidé, en accord avec les physiciens, d'accepter les barreaux présentant un "vide" inférieur ou égal à 1 mm/mètre, ce qui n'est pas contradictoire avec la tolérance totale sur la longueur de ± 1 mm.

Si après cette dernière mesure, la longueur de l'empilement est convenable, le tube d'aluminium est coupé à la longueur définitive sous alcool, de façon à être conforme aux tolérances exigées. Si l'empilement dépasse la cote convenable, le crayon est entièrement radiographié afin de contrôler la répartition des vides. Si cette répartition entre dans la tolérance de 1 mm. par mètre, le crayon est accepté et il convient d'ajuster la longueur totale par usinage du dernier barreau ou du bouchon. Dans le cas contraire, le crayon est refusé.

Après mise à longueur du tube, l'extrémité est soigneusement nettoyée et séchée à l'air chaud et le deuxième bouchon est mis en place et soudé.

Les conditions de soudage sont les suivantes :

- soudage en alternatif sous argon
- intensité = 50 Ampères pour les crayons UC-7
- " = 55 " " " " UC-4
- diamètre des électrodes de tungstène = \varnothing 1,7 mm.
- distance de l'électrode à la pièce = 0,9 mm.
- vitesse de soudage = 0,3 m/minute.

Pendant l'extinction de l'arc, la vitesse monte à 0,6 m/minute.

Les cordons terminés offrent un bel aspect brillant et la pénétration oscille entre 0,8 et 1 mm.

Après soudage, les gaines sont serties dans une gorge des bouchons au moyen de l'appareil de formage magnétique.

4.4. - Contrôles

Dans ce paragraphe sont décrites les opérations de contrôle aux différentes étapes de la fabrication.

4.4.1. - Demi-produits en aluminium (gaines comprises)

Après un nettoyage et un dégraissage soignés, les demi-produits subissent un contrôle de l'état de surface et un contrôle dimensionnel. Le diamètre intérieur des tubes de gaines est contrôlé en continu selon trois diamètres à l'aide d'un appareillage Solex.

4.4.2. - Pièces terminées (crayons exceptés)

Contrôle de l'état de surface et des dimensions.

4.4.3. - Crayons combustibles

Radiographie : les extrémités de tous les crayons sont contrôlées par radiographie afin de vérifier que le sertissage magnétique est convenable ainsi que les soudures.

Nous avons vu en outre au paragraphe 3 que dans certains cas, les crayons sont complètement radiographiés afin de détecter les vides.

Détection des fuites : avant assemblage, les crayons sont placés, au moins 15 heures, dans une chambre sous une pression d'hélium de 30 atmosphères. Puis, après cette mise sous pression, les crayons sont placés sous vide et l'hélium qu'ils pouvaient éventuellement contenir est détecté au moyen d'un spectromètre de masse.

Cette méthode permet de garantir une étanchéité supérieure à 2.10^{-7} Torr l/sec.

4.4.4. - Tubes de force et tubes de calandre

Les tubes de force et de calandre fabriqués par la firme HERAEUS subissent les contrôles suivants :

- Radiographie des cordons de soudures (10 % de la fabrication).

- Epreuve de pression d'eau (2 Kg/cm^2)
- Epreuve d'étanchéité avec une surpression intérieure de 0,6 atmosphères d'air comprimé
- Contrôle dimensionnel.

Les fiches de contrôle et les radiographies sont livrées avec les tubes.

4.5. - Montage des grappes

Lorsque tous les éléments combustibles de la grappe ont été rassemblés, le montage de celle-ci s'effectue sur un montage spécial comportant des pinces mobiles dans un plan vertical, pinces destinées à serrer les anneaux d'assemblages.

Ce montage nécessite beaucoup de soin mais ne présente pas de difficulté.

Lorsque la grappe est assemblée, on la stocke en position verticale en attendant le transport au réacteur où s'effectueront le remplissage en liquide organique et la mise en place des tubes de force et de calandre.

5. - REMARQUES SUR CES FABRICATIONS

5.1. - Effectifs de l'atelier de fabrication

- 1 ingénieur
- 1 contremaître
- 1 technicien/dessinateur
- 3 ou 4 manoeuvres selon les périodes.

5.2. - Résultats

De mai à septembre 64, 191 crayons combustibles type UC-7 ont été gainés.

Sur ces 191 crayons, nous avons noté :

- 1 crayon détérioré par coincement d'un barreau
- 3 crayons pour lesquels le coefficient de vide a été supérieur à 1 mm/mètre
- 7 crayons non étanches au ressuage hélium (soudure non étanche)

Sur ces 7 crayons, six peuvent être réparés sans difficulté, le septième est détérioré.

Il est intéressant de remarquer que six des sept crayons non étanches font partie des cinquante premiers crayons fabriqués, c'est-à-dire ont été exécutés à une époque où la fabrication n'était pas encore complètement au point.

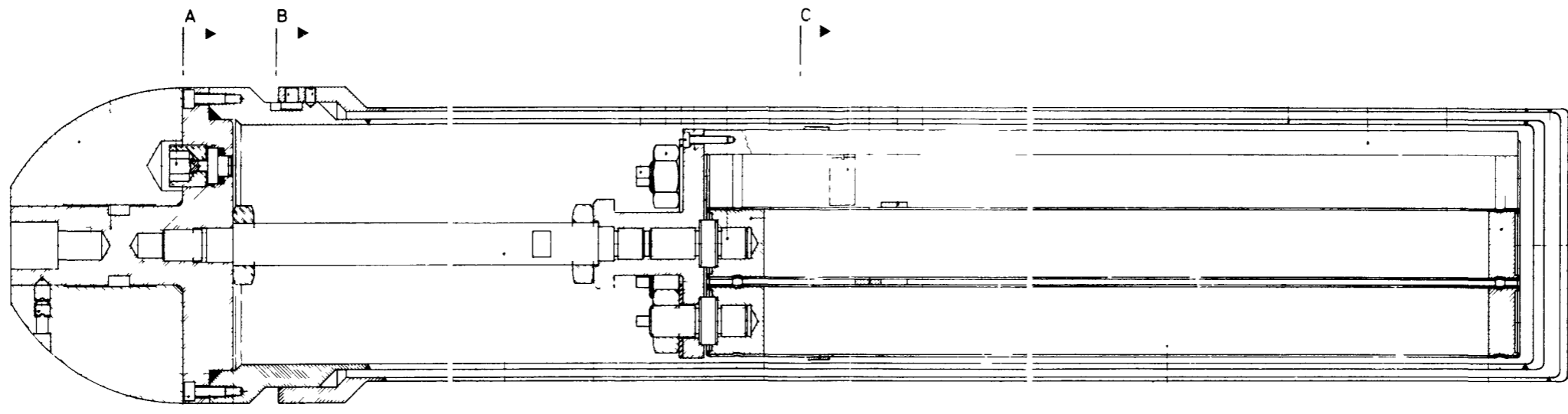
LISTE DES FIGURES

Plan 1-V-00500	-	Elément combustible UC-7
figure 1	-	Dessin du crayon UC-7
Plan 1-V-10010	-	Elément combustible UC-4
Plan 2-V-10023	-	Elément " UC-4 Modification de l'accrochage
Plan 3-V-10136	-	Elément combustible UC-4 Matrice en graphite
Plan 1-V-10172	-	Atelier de fabrication
figure 2	-	Schéma de fabrication
figure 3	-	Schéma du système de filtration utilisé pour le remplissage des crayons.
figure 4	-	Schéma du système de soudage
figure 5	-	Salle de décapage - détail
figure 6	-	" " " - détail
figure 7	-	" " " - détail
figure 8	-	" " " - détail
figure 9	-	Salle de décapage - filtration des fumées
figure 10	-	Réception du carbure dans la salle de mise en gaines (on distingue 3 lots corres pondant à 3 crayons).
figure 11	-	Remplissage des crayons
figure 12	-	" " "
" 13	-	On distingue les barreaux de carbure et l'extrémité du tube pousseur.
figure 14	-	Installation de soudage
figure 15	-	Installation de soudage - détail
figure 16	-	" " " "
figure 17	-	Installation de formage magnétique - détail

- Figure 18 - Extrémité supérieure d'un crayon
terminé -
on distingue la gorge de sertissage
- figure 19 - Crayons terminés
- figure 20 - Salle de détection des fuites
- figure 21 - " " " " "
- à gauche, chambres de mise en
pression
- au fond à gauche - chambres de détection
- " " à droite spectromètre de masse
- figure 22 - Pièces détachées destinées au montage
- figure 23 - Tour de montage des grappes
Le technicien procède au sertissage
des anneaux maintenant le faisceau
- figure 24 - Montage des grappes - détail
- figure 25 - Outil destiné à serrer les anneaux
- figure 26 - Grappes terminées (tubes de force
et de calandre non montés).

19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Coupe D-D



20

21

22

65

19

176

70

2900

35

3265

A

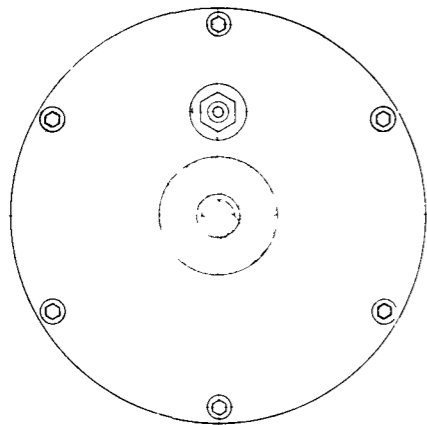
B

C

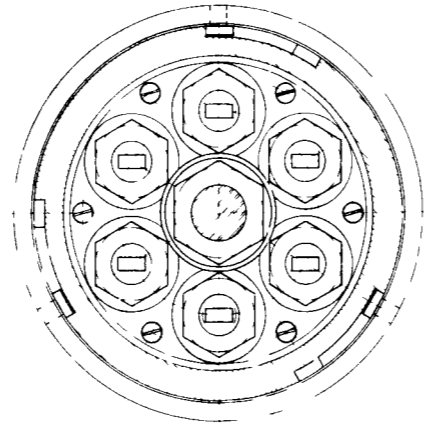
23

24

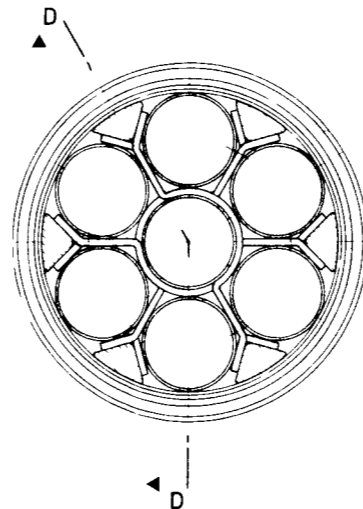
Coupe A-A



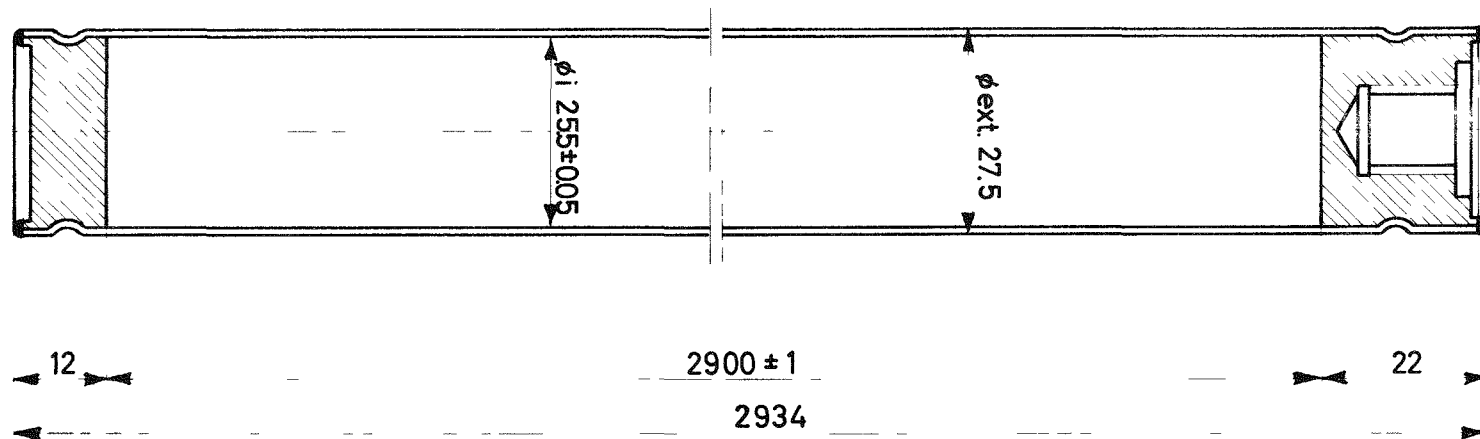
Coupe B-B



Coupe C-C



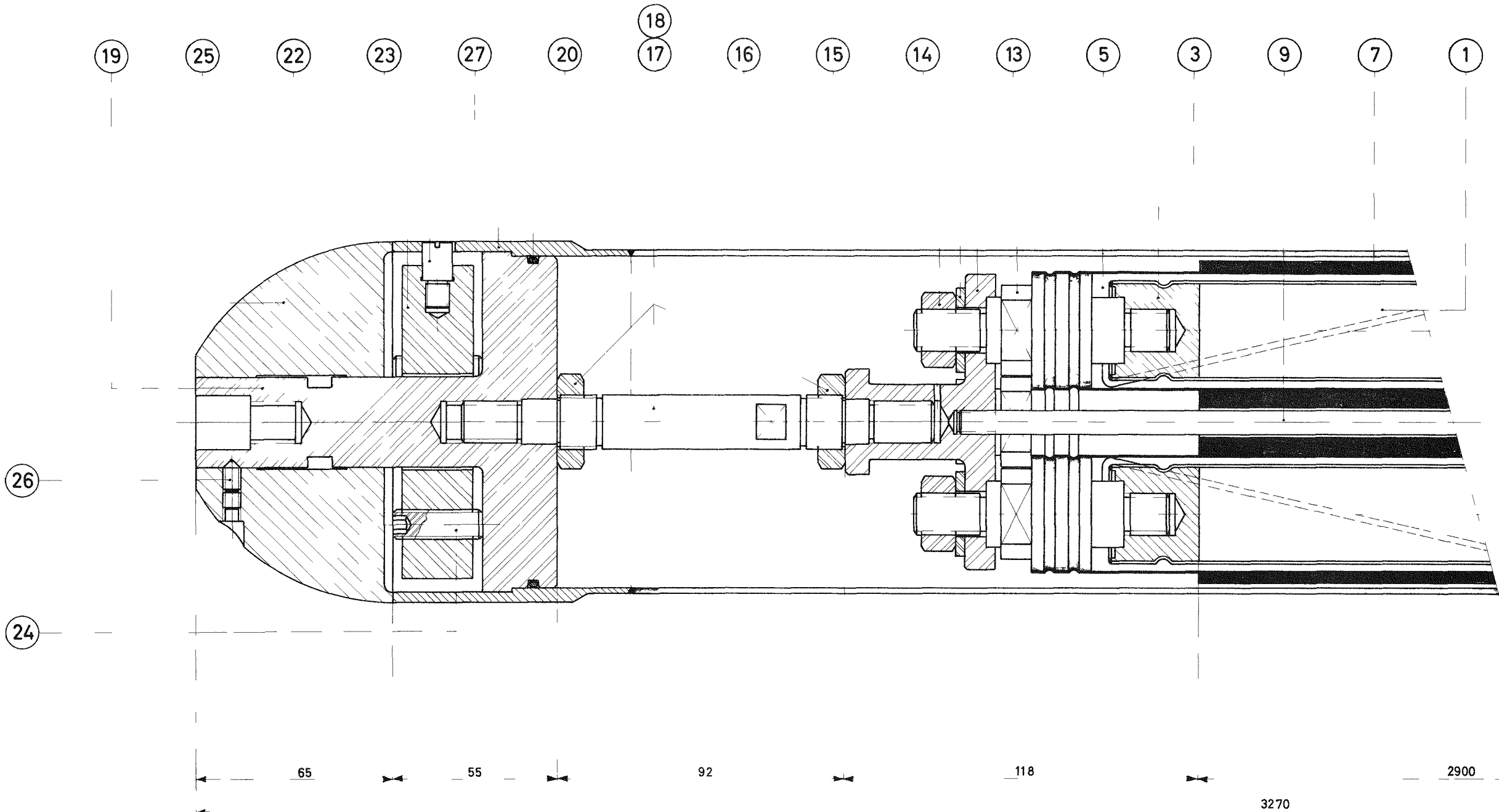
24	Graine combustible	25x27	7	Aluminio			
23	Tige d'accrochage		1	Acier Inox			3-V-00545
22	Vis six pans creux		6	Acier Inox			
21	Joint torique		1				
20	Vis sans tête		1	Acier Inox			
19	Tête de profilage		1	Aluminio			4-V-00547
18	Tête d'accrochage		1	Acier Inox			3-V-00546
17	Bouchon de remplissage		1	Acier Inox			4-V-00548
16	Teton de bayonnette		3	Acier Inox			4-V-00549
15	Vis sans tête à bout pointu		3	Acier Inox			
14	Goujon de centrage et de fixation		6	Acier Inox			4-V-00553
13	Ecrin		6	Acier Inox			
12	Rondelle		6	Acier Inox			
11	Plaque de support		1	Acier Inox			3-V-00544
10	Goujon de centrage et de fixation		1	Acier Inox			4-V-00542
9	Bouchon de tête		7	Aluminio			4-V-00532
8	Spacer	e=2	6	Aluminio			
7	Spacer	e=2	6	Aluminio			4-V-534
6	Spacer	e=2	6	Aluminio			4-V-533
5	Cerclage	Ø int 88.5	6	Aluminio			
4	Tube de force	Ø 91 x 95	1	Aluminio			2-V-00531
3	Filler		6	Magnésium			
2	Bouchon de fond		7	Aluminio			4-V-00536
1	Tube calandre	Ø 101 x 104	1	Aluminio			Disegno N° 2-V-00530
N	DESIGNATION	DIMENSIONI FINITE	QUANTITÀ	MATERIALE	RAT. ARBENTO	NORME E OSSERVAZIONI	
1	MODIFICAZIONE Disegno finale va emesso per l'esecuzione dopo le ultime modifiche apportate durante montaggio Agosto 64 88						
1	EURATOM CCR ISPR						
1	Element combustible ECO						
1	1 - V - 00500						
1	1 - V - 00719						



CRAYON COMBUSTIBLE D'UN ELEMENT ECO à 7 BARRES

Fig. 1

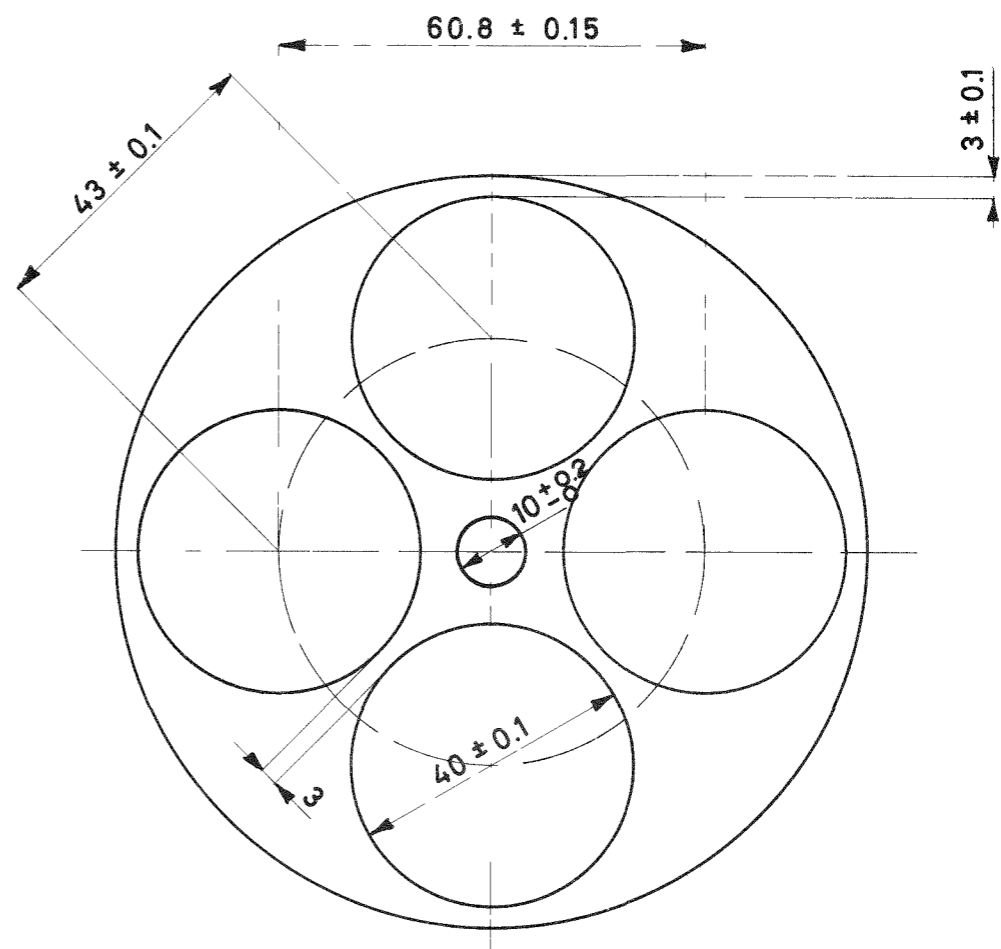
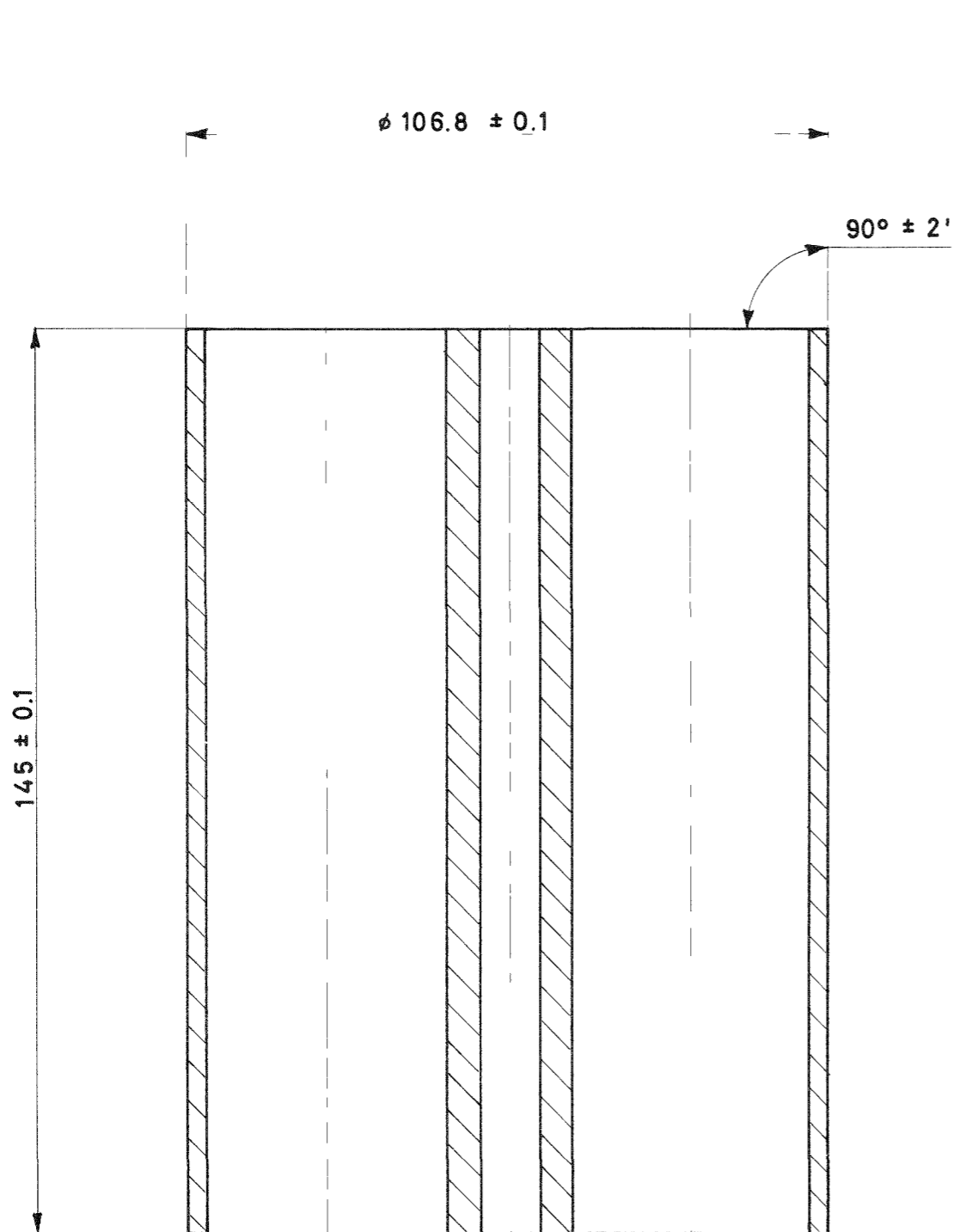
Questo documento è di proprietà esclusiva di EURATOM e non può essere ceduto o copiato senza autorizzazione.



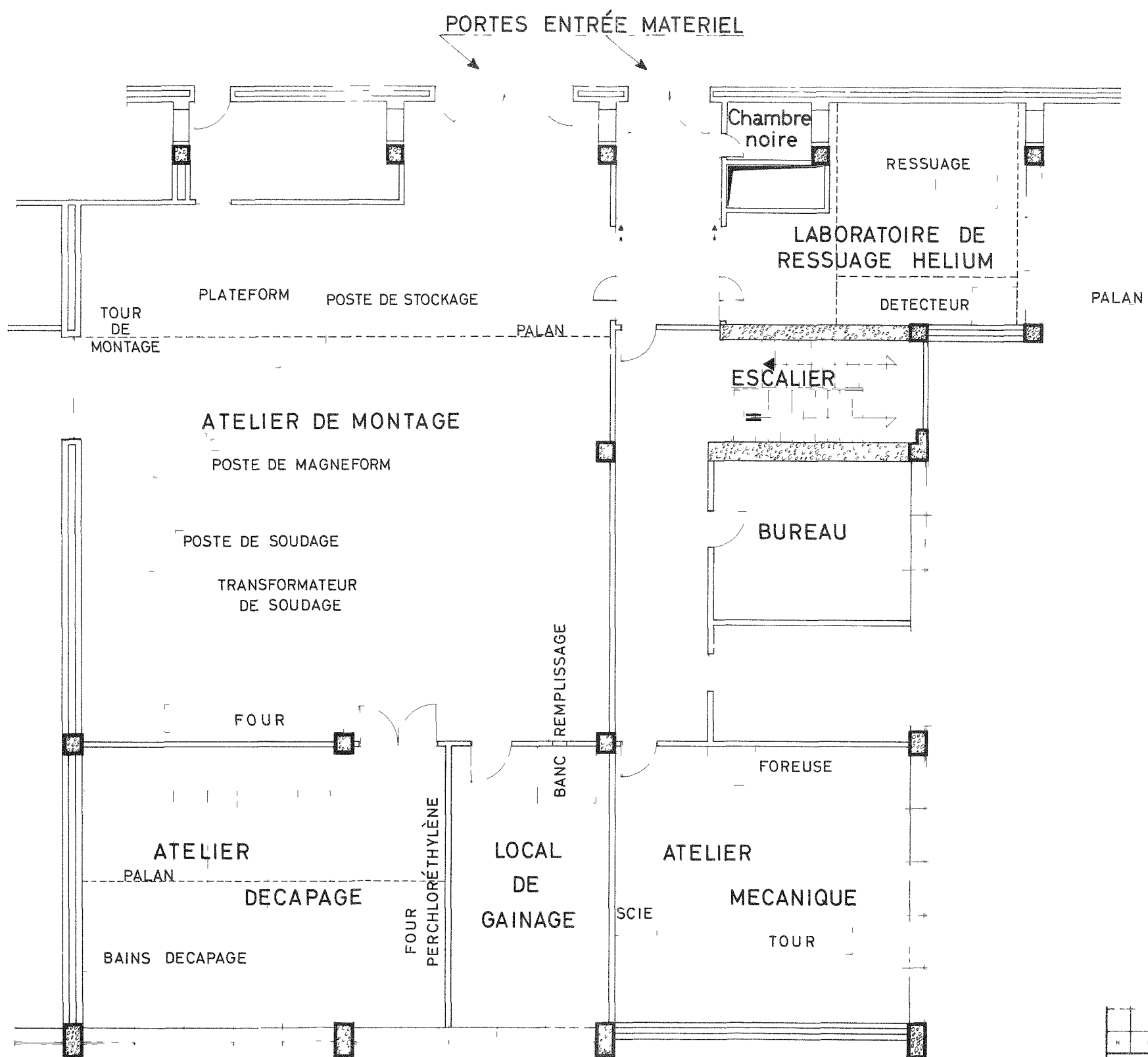
PER LA PARTE INFERIORE CONSULTARE IL DISEGNO 3-V-10023/a

27	Tube de force	1	Aluminium	Ø 110 x 114	dess	2 V 10029
26	Vis et contrevis serrage t p	1	Acier inox			3 V 10132
25	Tête profilée	1	Duraluminium			3 V 0132
24	Vis de serrage	3	Acier inox			3 V 0131
23	Téton de serrage	3	Acier inox			3 V 0131
22	Bague de serrage	1	Acier inox			3 V 10131
20	Joint d'étanchéité	1	Le joint Français - profil I n° 11301			
19	Tête d'accrochage	1	Acier inox			3 V 10130
18	Ecrou de la tige	2	Acier inox			3 V 0129
17	Tige support grappe	1	Acier inox			3 V 0129
16	Ecrou du goujon	4	Acier inox			4 V 10126
15	Rondelle du goujon	4	Acier inox			4 V 10126
14	Plaque de suspension crayon	1	Acier inox			3 V 0128
13	Goujon de suspension crayon	4	Acier inox			4 V 10126
9	Tige de suspension graphite	1	Aluminium			3 V 10161
7	Matrice en graphite	20	Graphite			3 V 10136
5	Tube mince	4	Aluminium	Ø 38 2 x 39 2		4 V 0159
3	Bouchon tête crayon	4	Aluminium			3 V 10158
1	Crayon combustible	4	Aluminium	tube Ø 312 x 332		3 V 10158
N	DESIGNAZIONE	QUANT	MATERIALE	OSSERVAZIONI		

N	DESIGNAZIONE	DIMENSIONI FINITE	QUANTITÀ	MATERIALE	TRATTAMENTO	NORME E OSSERVAZIONI
SCALA	1 1	MODIFICAZIONE	Questo disegno presenta a modificazione della parte superiore del disegno 3-V-10010 che è annullato. Del n° 10010 è stato eseguito per esecuzione Settembre 64.			
FINITURA	/	DESIGNAZIONE	Element combustible E C O solution à 4 crayons			
TOLLERANZE GENERALI	/	TITOLO	VARIANTE			
		DATA	NOME	FABBRICAZIONE	NOMENCLATURA N N -	
		7-11-63	Pratella		INSIEME N -	
		CAPO DI GRUPPO		F		



N	DESIGNAZIONE	DIMENSIONI FINITE	QUANTITÀ	MATERIALE	TRATTAMENTO	NORME E OSSERVAZIONI
SCALA	MODIFICAZIONE				EURATOM C.C.R. ISPRA	
1:1						
FINITURA	DESIGNAZIONE MATRICE en GRAPHITE				SERVIZIO Metallurgia	GRUPPO BRIOLA
TOLLERANZE GENERALI	TITOLO Element ECO à 4 crayons				per Servizio	Prog N. E
	DISEGNATO	DATA	NOME	FABBRICAZ. N.	NOMENCLATURA N N -	
	VERIFICATO	11-2-64	GB	F	INSIEME N. 1-V-10136	
	CAPO DI GRUPPO					



N	DESIGNAZIONE	DIMENSIONI FINITE	QUANTITA	MATERIALE	TRATTAMENTO	NORME E OSSERVAZIONI	
SCALA	MODIFICAZIONI				EURATOM CCR ISPRA		
FINITURA	DESIGNAZIONE ATELIERS ELEMENTS COMBUST PROTOTYPES				SERVIZIO	GRUPPO	
					METALLURGIE	N	BRIOL
					1 - V - 10172		
TOLLERANZE CENTRAL	TITOLO				Da - a	Pag. N	E
	DISIGNATO	DATA	NOME	FABBRICAZ. N	NOMENCLATURA N -		
	VERIFICATO	3 6	60/30/20				
	CARICO DI GIUBBO				INSERIRE N -		
			F				

ELEMENTS COMBUSTIBLES ECO À 7 BARRES

chaîne de la fabrication

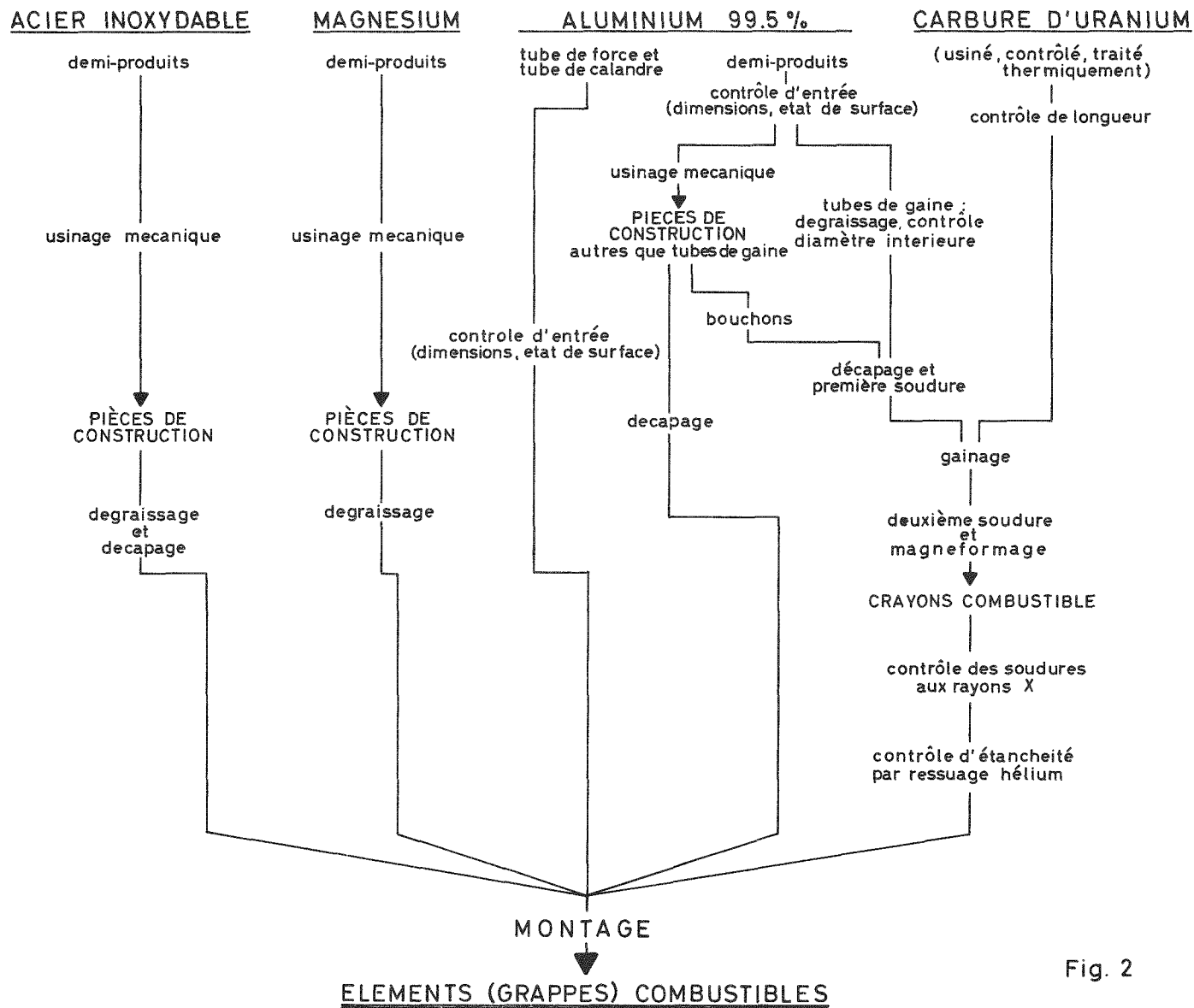


Fig. 2

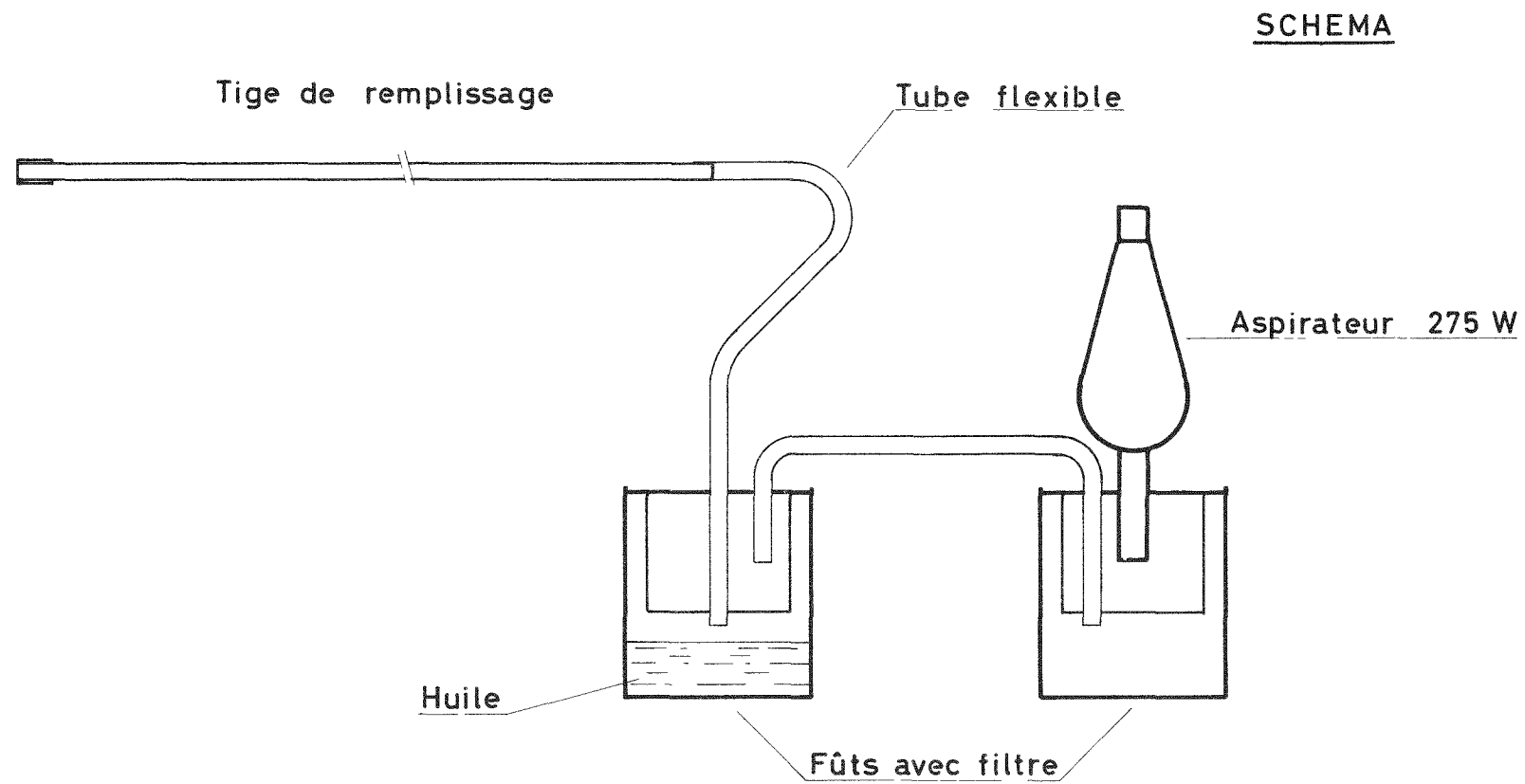


Fig. 3

SOUDURE DES BOUCHONS
PAR METHODE ARGON-ARC

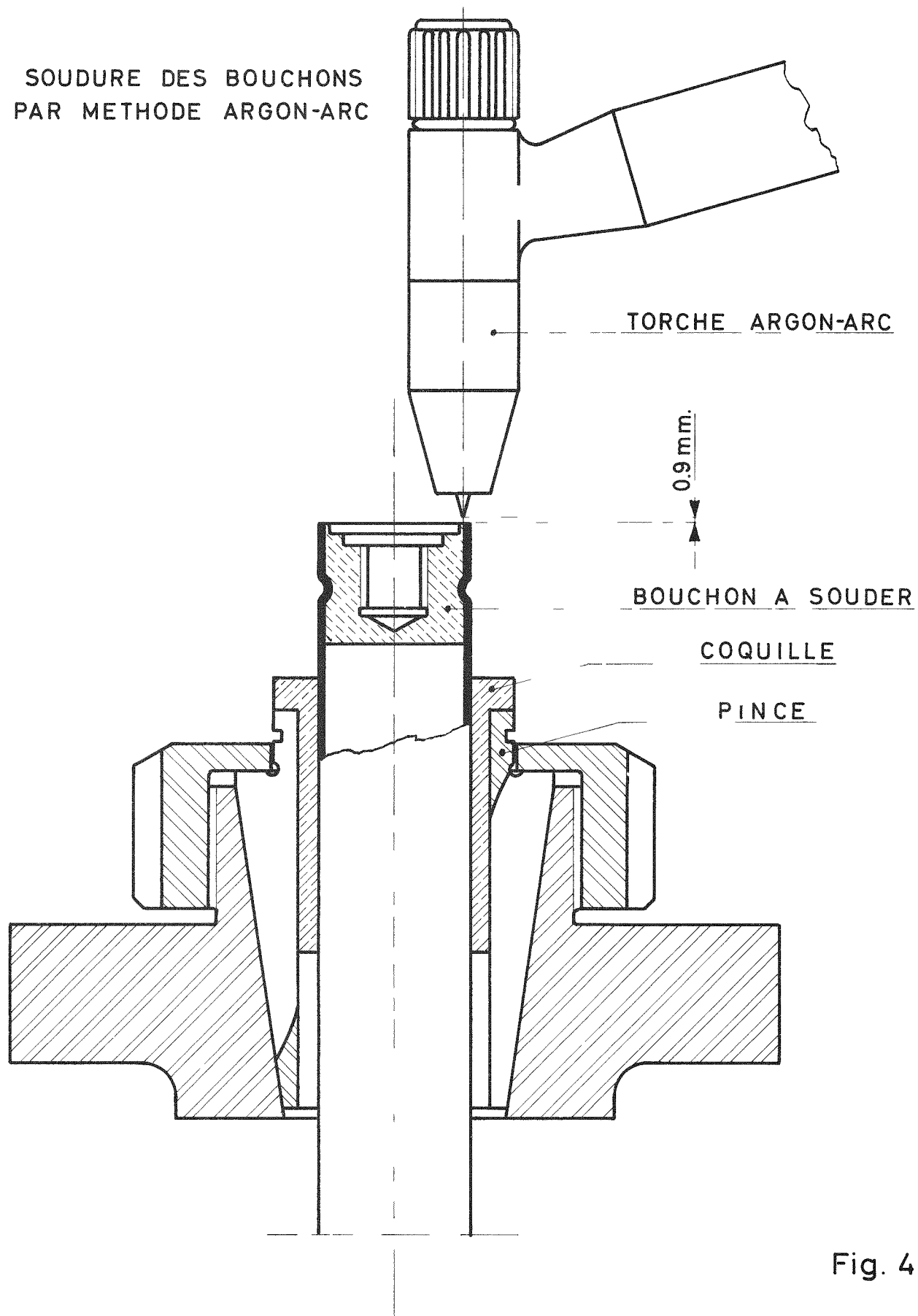


Fig. 4

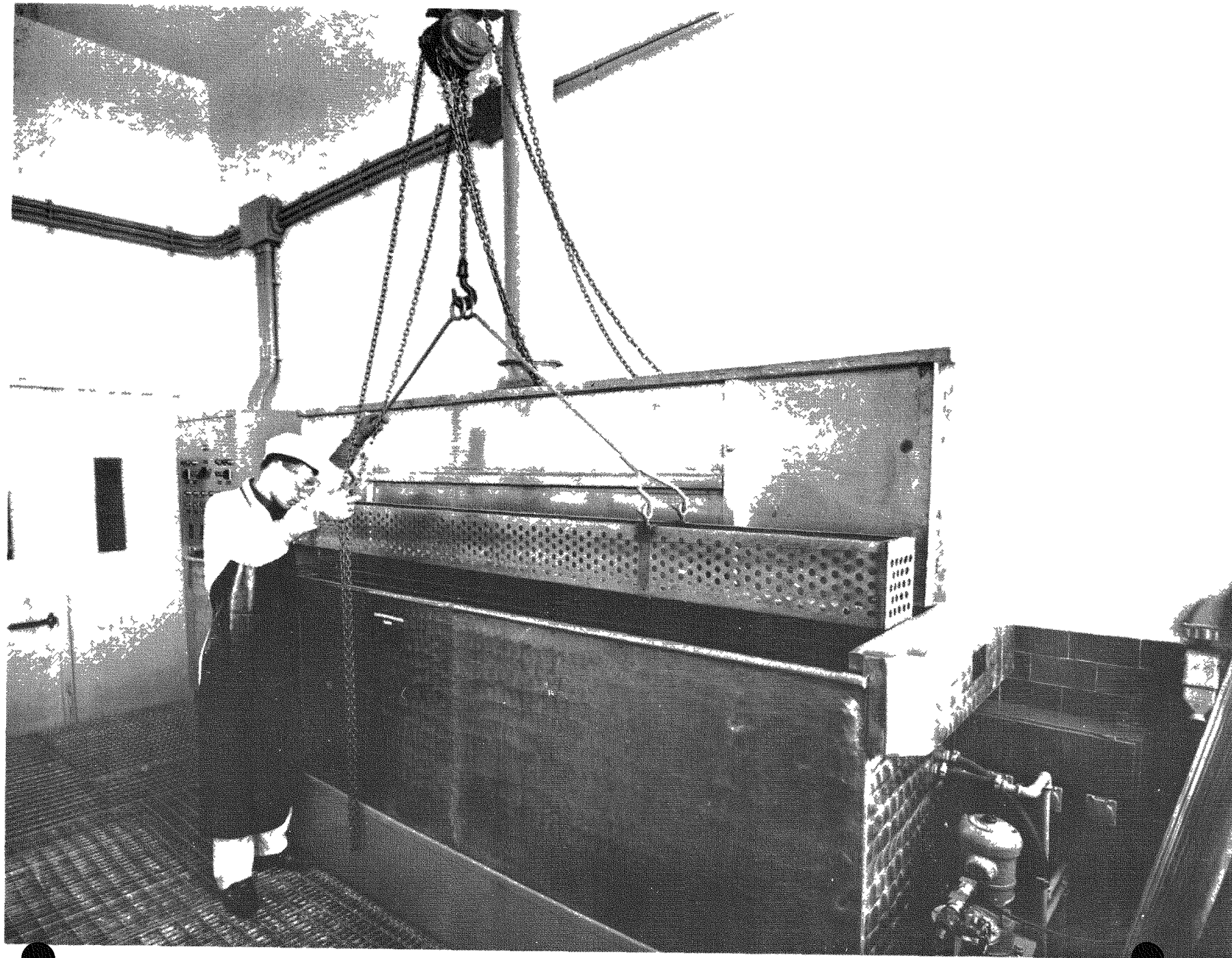


9



Fig. 5 : Salle de décapage - détail





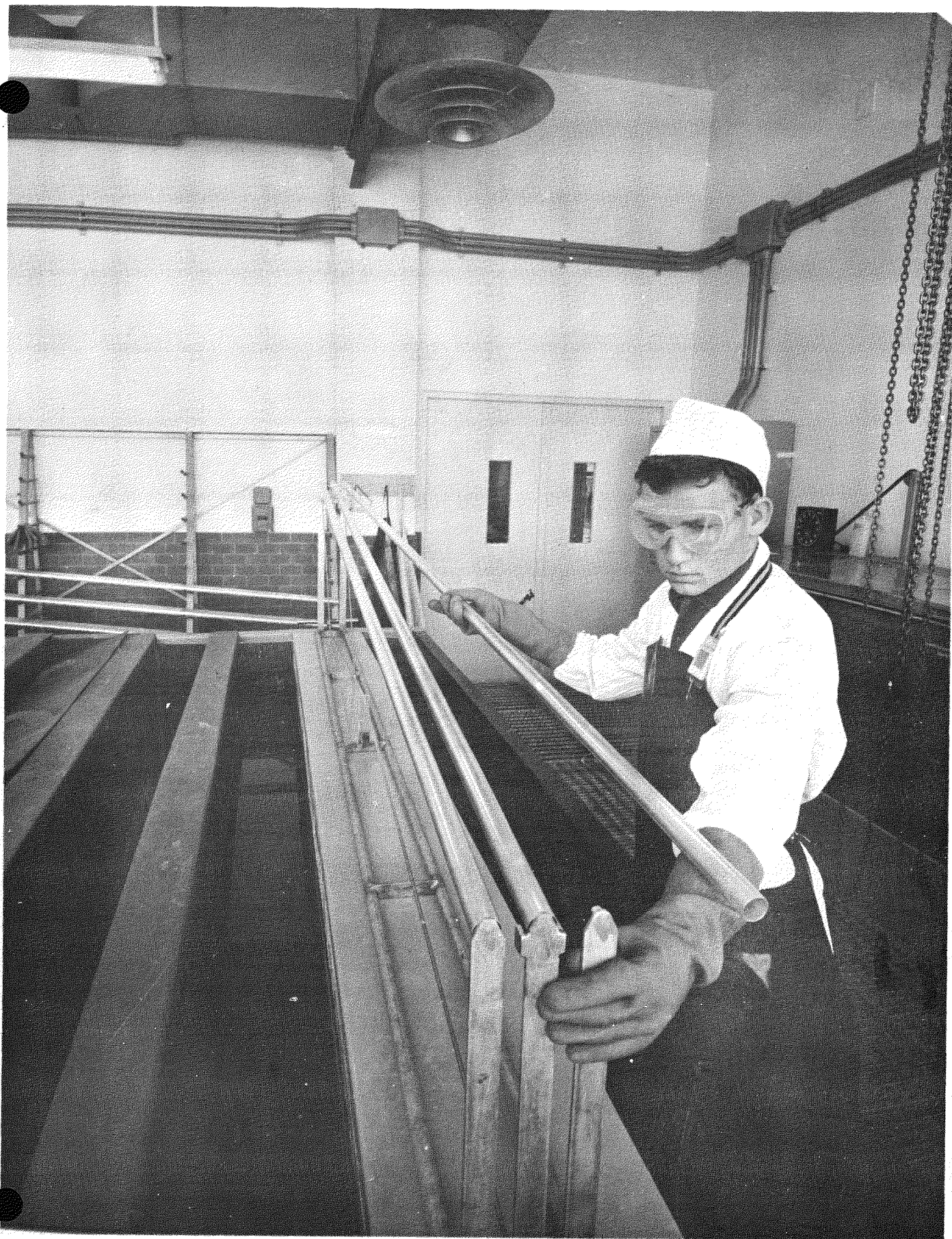


Fig. 7 : Salle de décapage .. détail



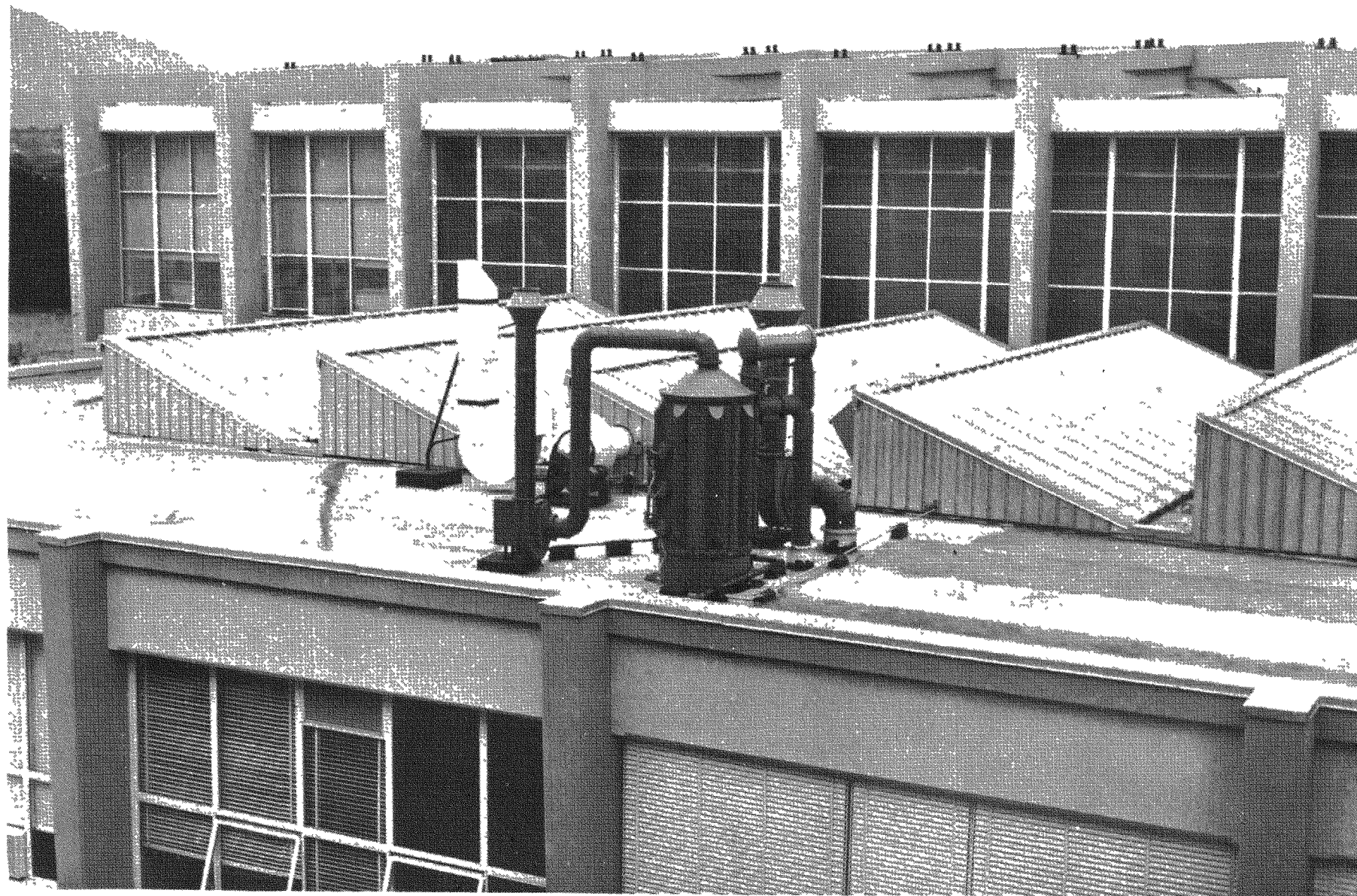


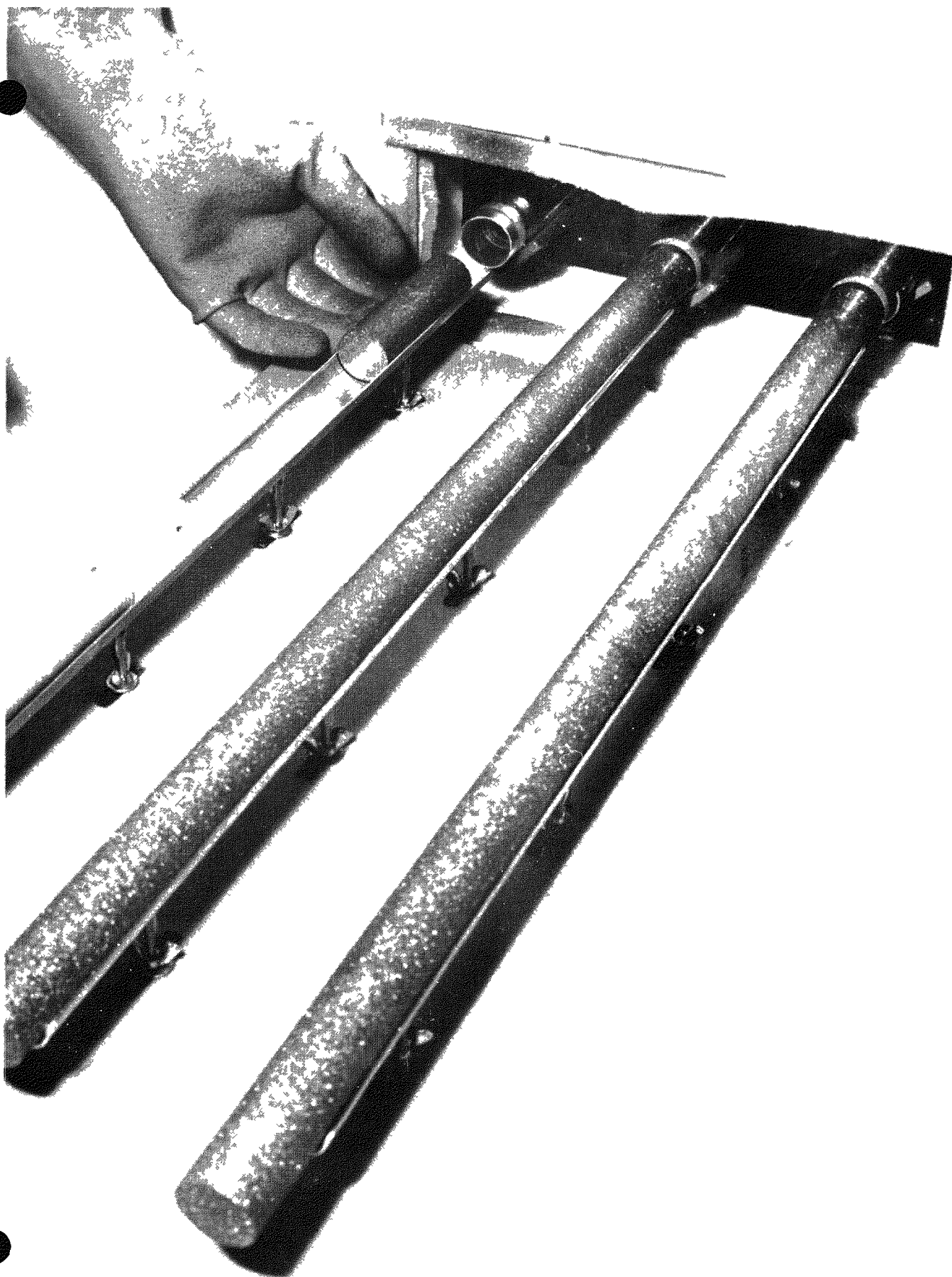




Fig. 11 : Remplissage des crayons



Fig. 12 : Remplissage des crayons



—

ertr

Fig. 14 : Installation de soudage.

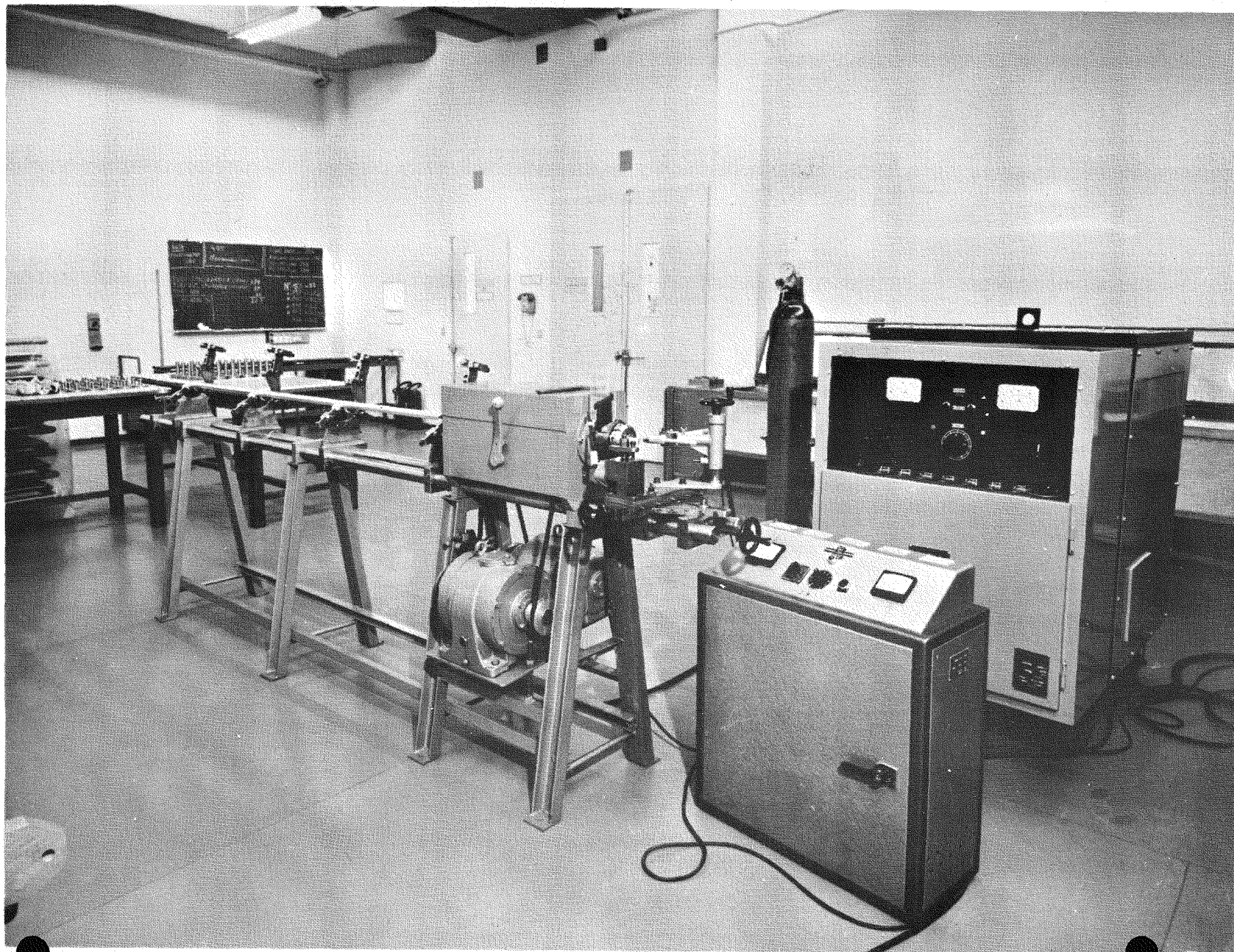
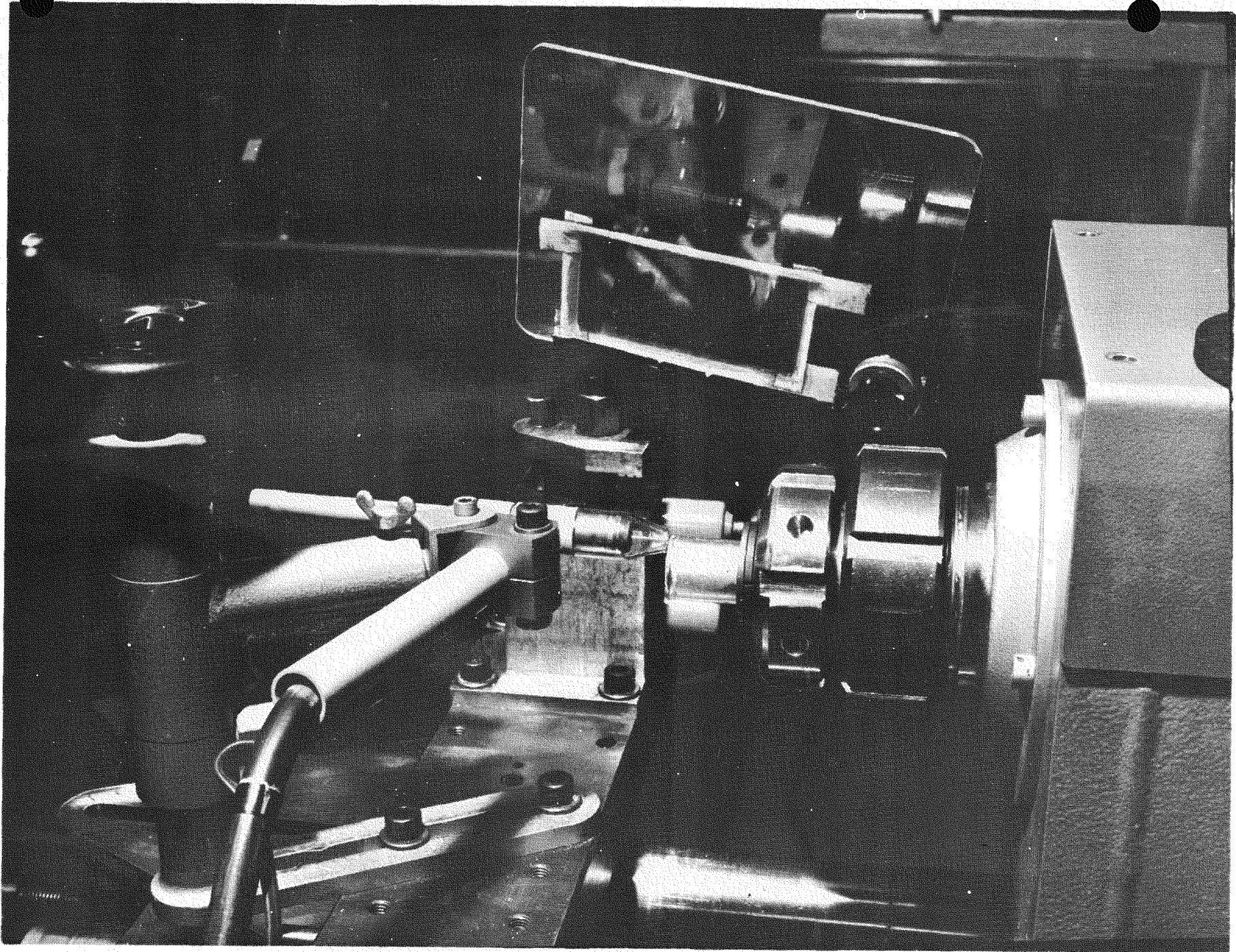


Fig. 15 : Installation de sondage - détail



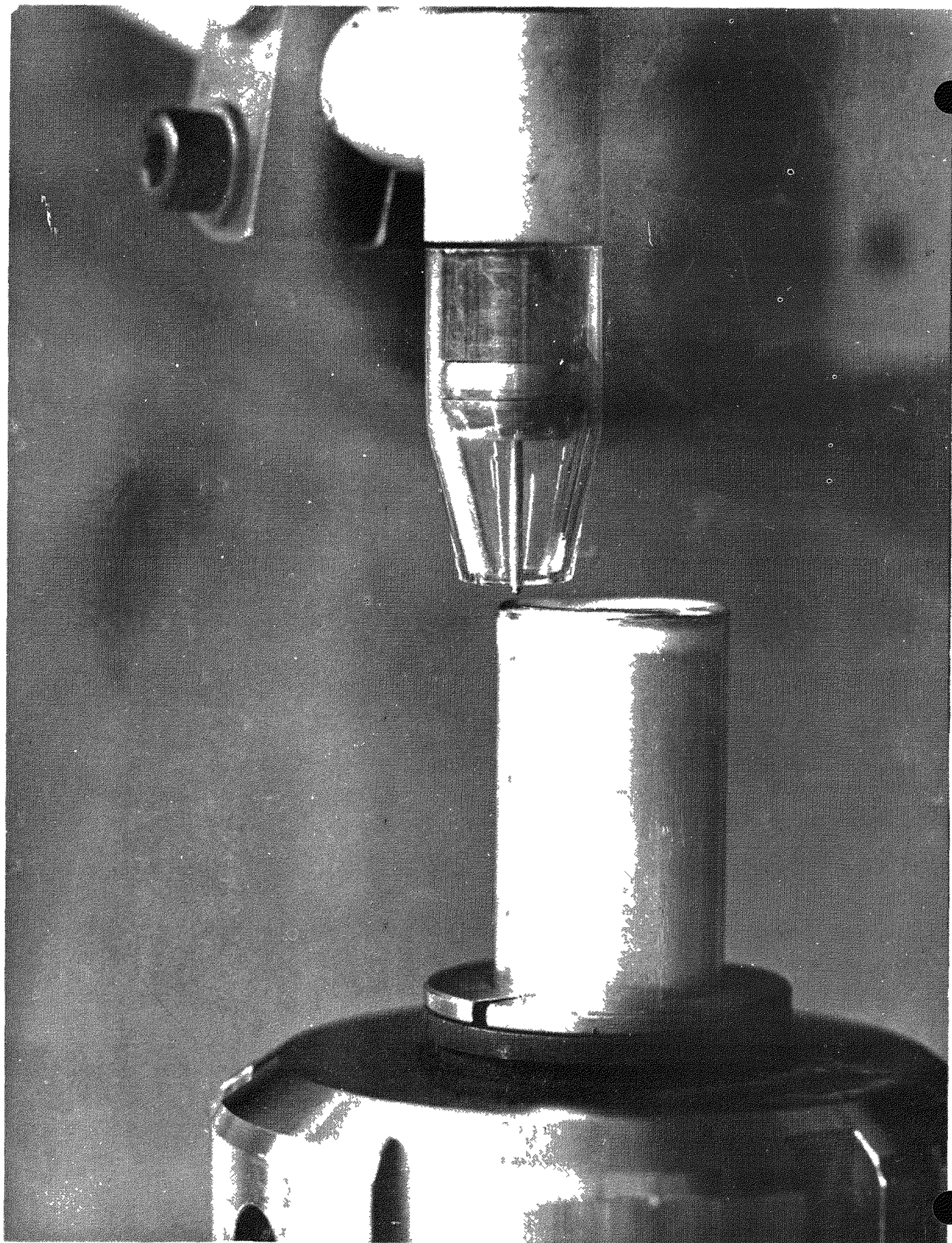
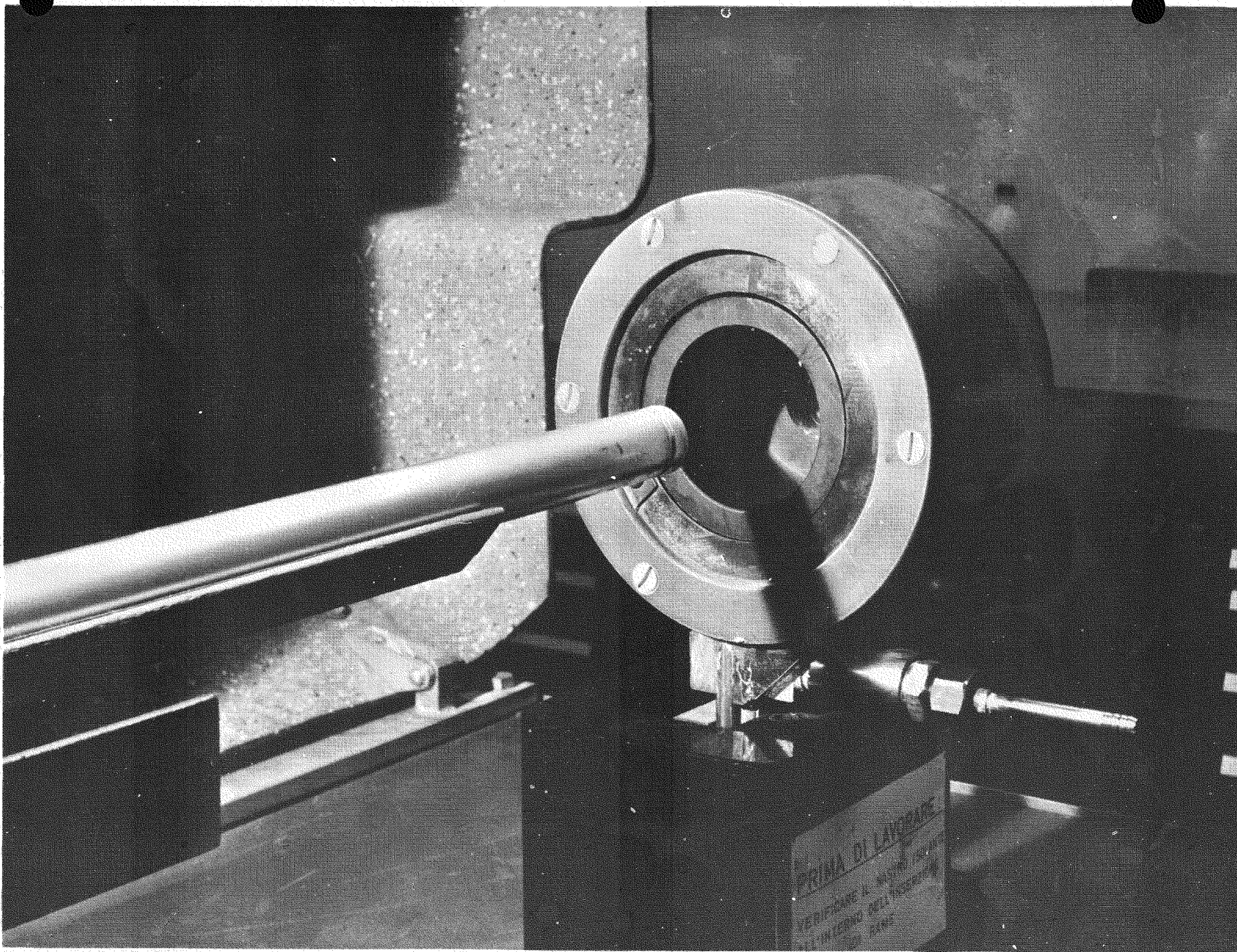
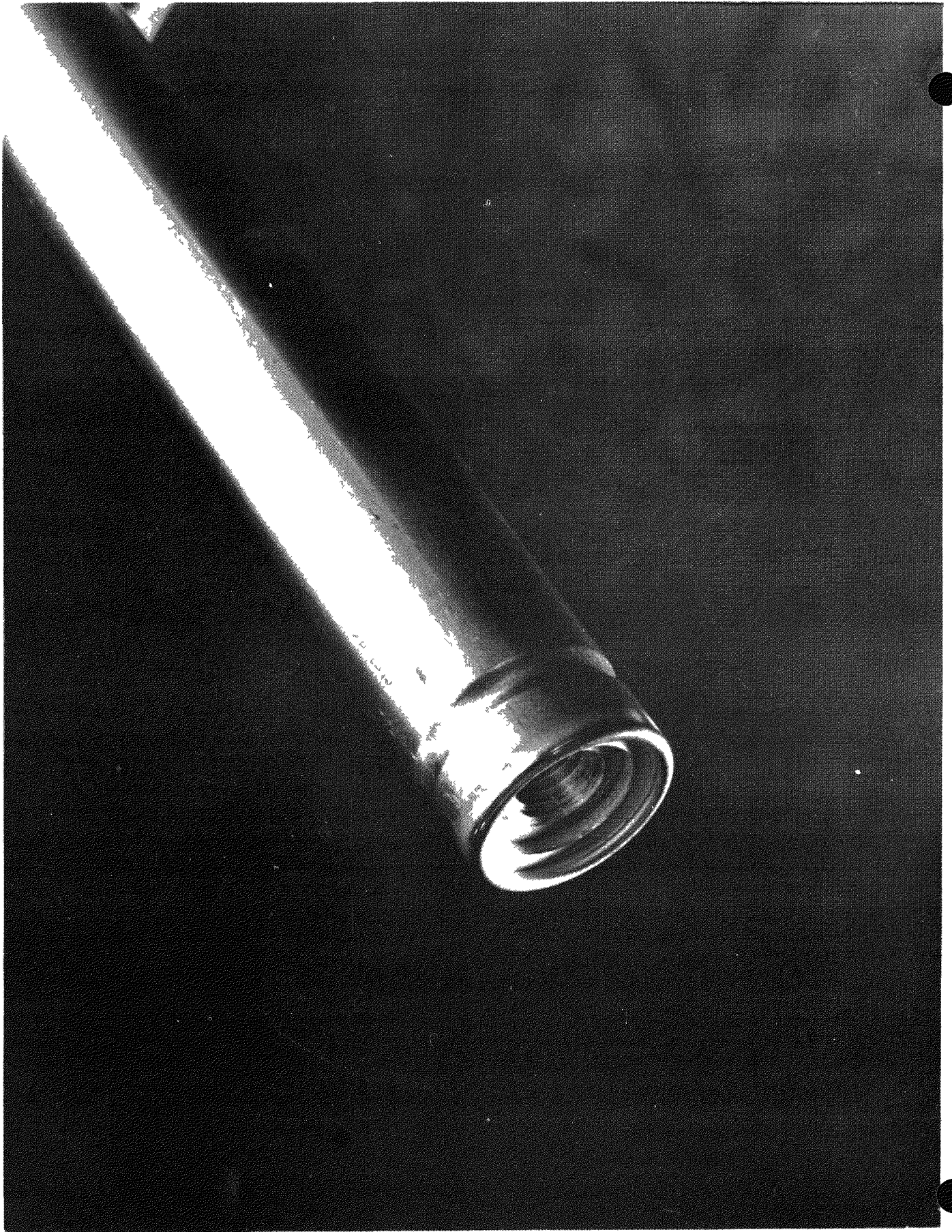


Fig. 17 : Installation de formage magnétique - détail





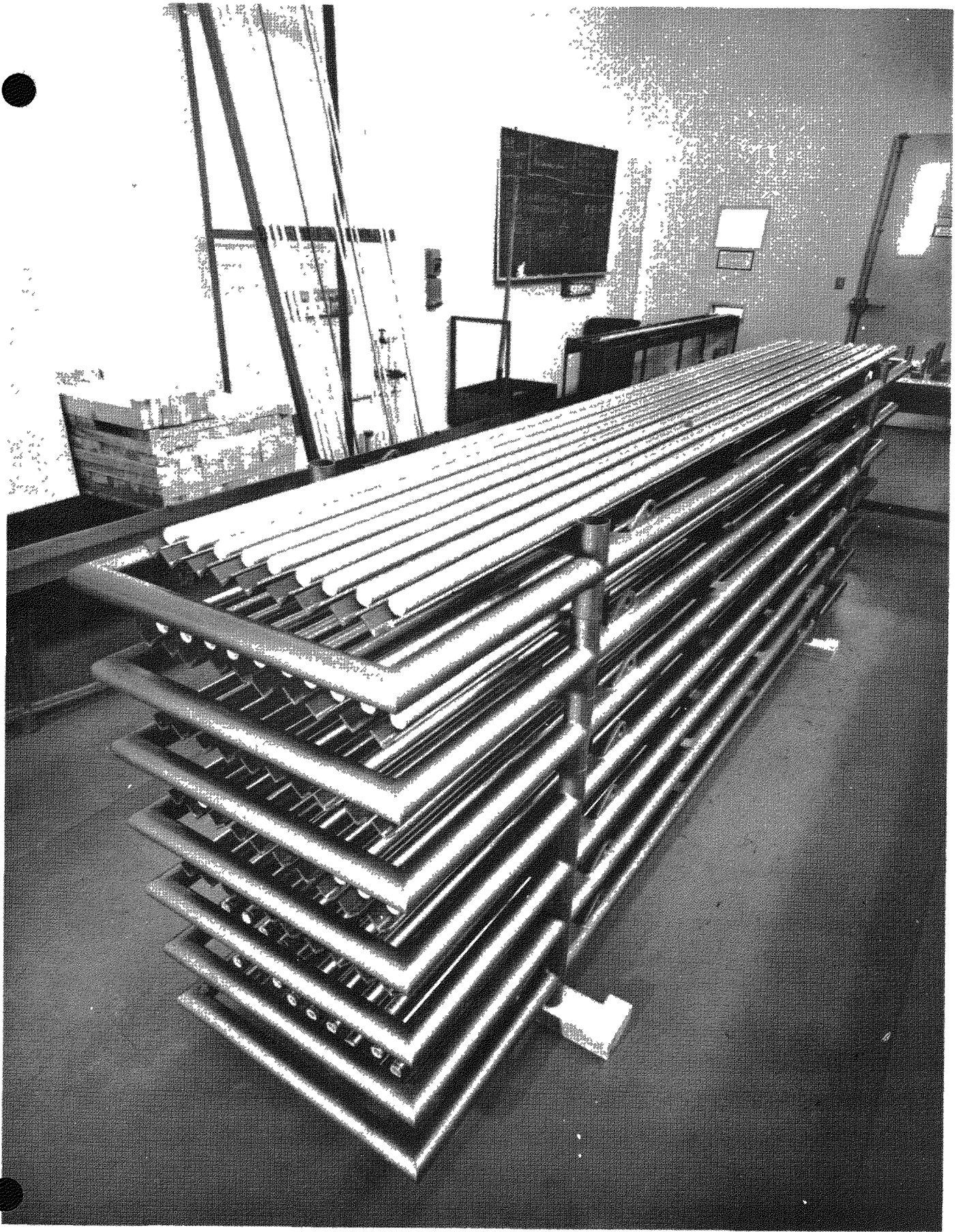
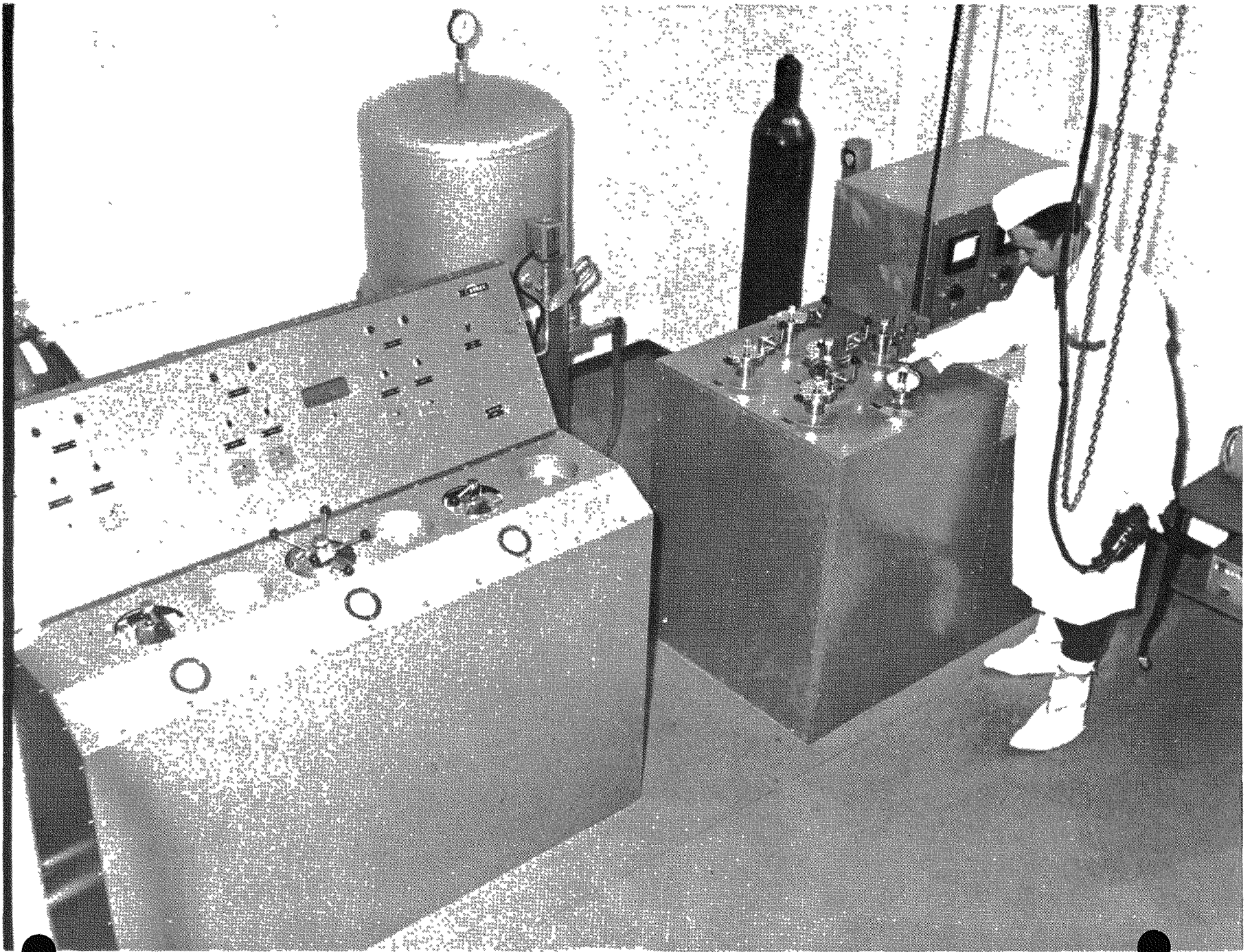


Figure 1 : 2, 1, 16 156

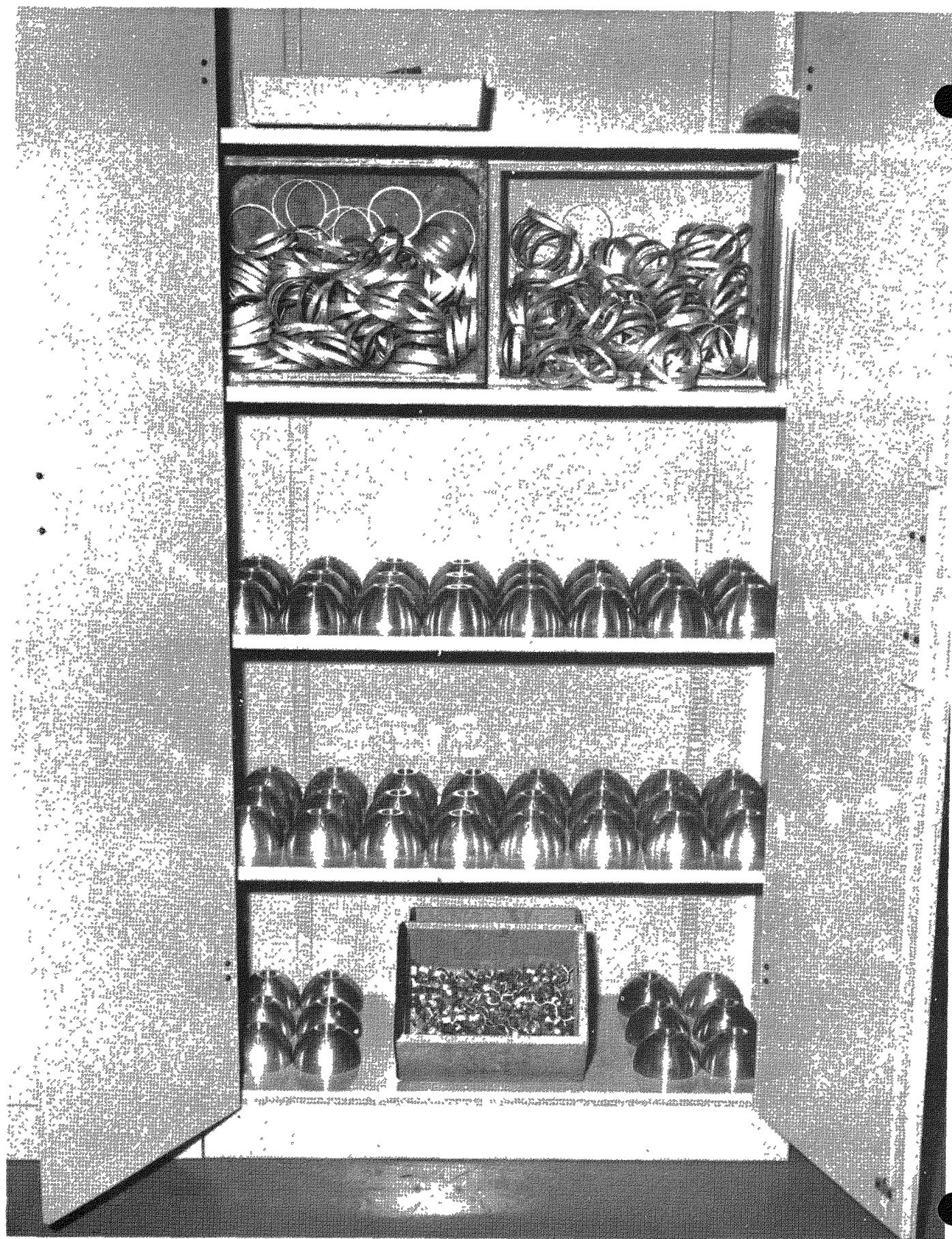
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.



27

2000
 2001
 2002
 2003
 2004
 2005
 2006
 2007
 2008
 2009
 2010
 2011
 2012
 2013
 2014
 2015
 2016
 2017
 2018
 2019
 2020
 2021
 2022
 2023
 2024
 2025
 2026
 2027
 2028
 2029
 2030
 2031
 2032
 2033
 2034
 2035
 2036
 2037
 2038
 2039
 2040
 2041
 2042
 2043
 2044
 2045
 2046
 2047
 2048
 2049
 2050
 2051
 2052
 2053
 2054
 2055
 2056
 2057
 2058
 2059
 2060
 2061
 2062
 2063
 2064
 2065
 2066
 2067
 2068
 2069
 2070
 2071
 2072
 2073
 2074
 2075
 2076
 2077
 2078
 2079
 2080
 2081
 2082
 2083
 2084
 2085
 2086
 2087
 2088
 2089
 2090
 2091
 2092
 2093
 2094
 2095
 2096
 2097
 2098
 2099
 2100
 2101
 2102
 2103
 2104
 2105
 2106
 2107
 2108
 2109
 2110
 2111
 2112
 2113
 2114
 2115
 2116
 2117
 2118
 2119
 2120
 2121
 2122
 2123
 2124
 2125
 2126
 2127
 2128
 2129
 2130
 2131
 2132
 2133
 2134
 2135
 2136
 2137
 2138
 2139
 2140
 2141
 2142
 2143
 2144
 2145
 2146
 2147
 2148
 2149
 2150
 2151
 2152
 2153
 2154
 2155
 2156
 2157
 2158
 2159
 2160
 2161
 2162
 2163
 2164
 2165
 2166
 2167
 2168
 2169
 2170
 2171
 2172
 2173
 2174
 2175
 2176
 2177
 2178
 2179
 2180
 2181
 2182
 2183
 2184
 2185
 2186
 2187
 2188
 2189
 2190
 2191
 2192
 2193
 2194
 2195
 2196
 2197
 2198
 2199
 2200
 2201
 2202
 2203
 2204
 2205
 2206
 2207
 2208
 2209
 2210
 2211
 2212
 2213
 2214
 2215
 2216
 2217
 2218
 2219
 2220
 2221
 2222
 2223
 2224
 2225
 2226
 2227
 2228
 2229
 2230
 2231
 2232
 2233
 2234
 2235
 2236
 2237
 2238
 2239
 2240
 2241
 2242
 2243
 2244
 2245
 2246
 2247
 2248
 2249
 2250
 2251
 2252
 2253
 2254
 2255
 2256
 2257
 2258
 2259
 2260
 2261
 2262
 2263
 2264
 2265
 2266
 2267
 2268
 2269
 2270
 2271
 2272
 2273
 2274
 2275
 2276
 2277
 2278
 2279
 2280
 2281
 2282
 2283
 2284
 2285
 2286
 2287
 2288
 2289
 2290
 2291
 2292
 2293
 2294
 2295
 2296
 2297
 2298
 2299
 2300
 2301
 2302
 2303
 2304
 2305
 2306
 2307
 2308
 2309
 2310
 2311
 2312
 2313
 2314
 2315
 2316
 2317
 2318
 2319
 2320
 2321
 2322
 2323
 2324
 2325
 2326
 2327
 2328
 2329
 2330
 2331
 2332
 2333
 2334
 2335
 2336
 2337
 2338
 2339
 2340
 2341
 2342
 2343
 2344
 2345
 2346
 2347
 2348
 2349
 2350
 2351
 2352
 2353
 2354
 2355
 2356
 2357
 2358
 2359
 2360
 2361
 2362
 2363
 2364
 2365
 2366
 2367
 2368
 2369
 2370
 2371
 2372
 2373
 2374
 2375
 2376
 2377
 2378
 2379
 2380
 2381
 2382
 2383
 2384
 2385
 2386
 2387
 2388
 2389
 2390
 2391
 2392
 2393
 2394
 2395
 2396
 2397
 2398
 2399
 2400
 2401
 2402
 2403
 2404
 2405
 2406
 2407
 2408
 2409
 2410
 2411
 2412
 2413
 2414
 2415
 2416
 2417
 2418
 2419
 2420
 2421
 2422
 2423
 2424
 2425
 2426
 2427
 2428
 2429
 2430
 2431
 2432
 2433
 2434
 2435
 2436
 2437
 2438
 2439
 2440
 2441
 2442
 2443
 2444
 2445
 2446
 2447
 2448
 2449
 2450
 2451
 2452
 2453
 2454





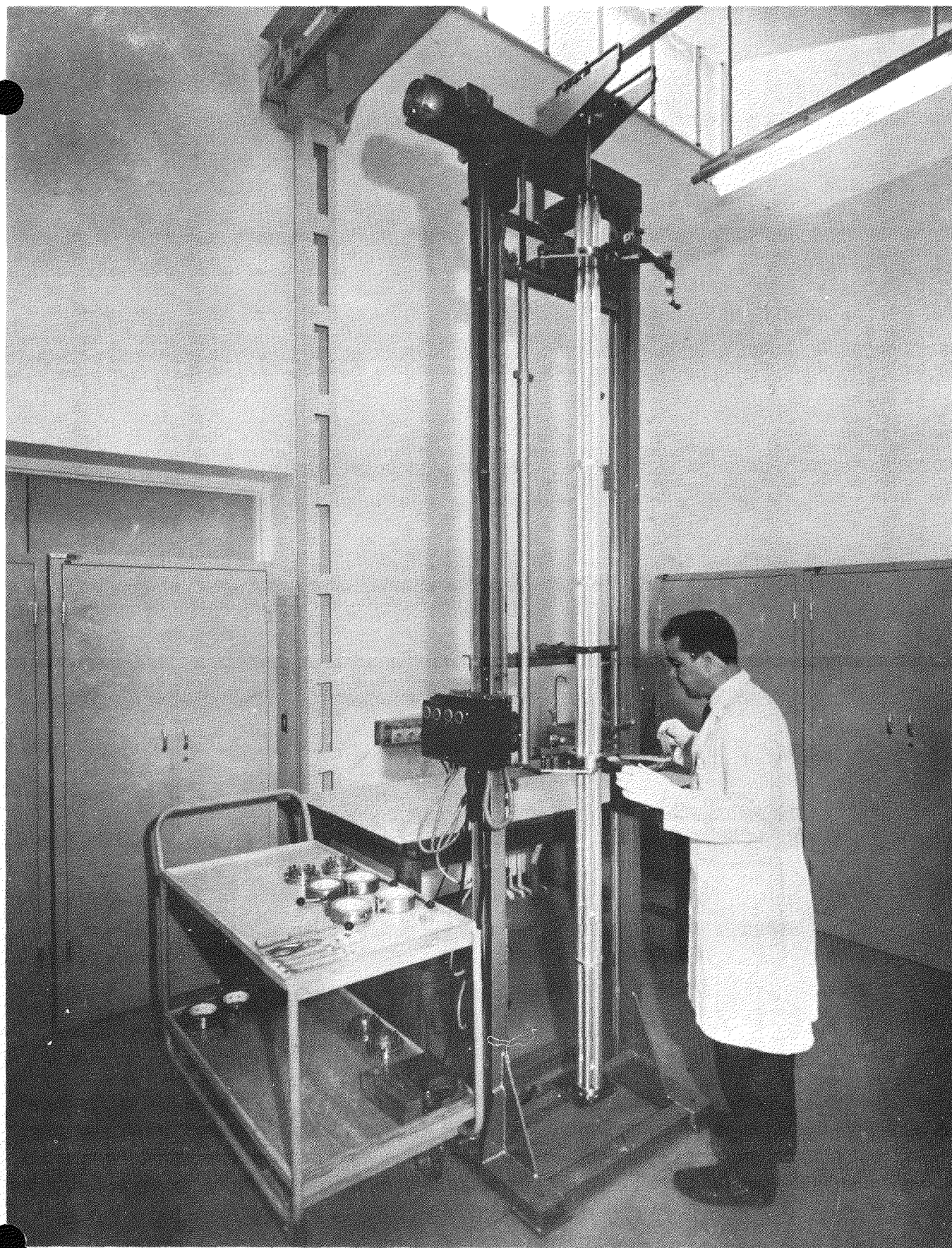


Fig. 23 : Tour de montage des grappes

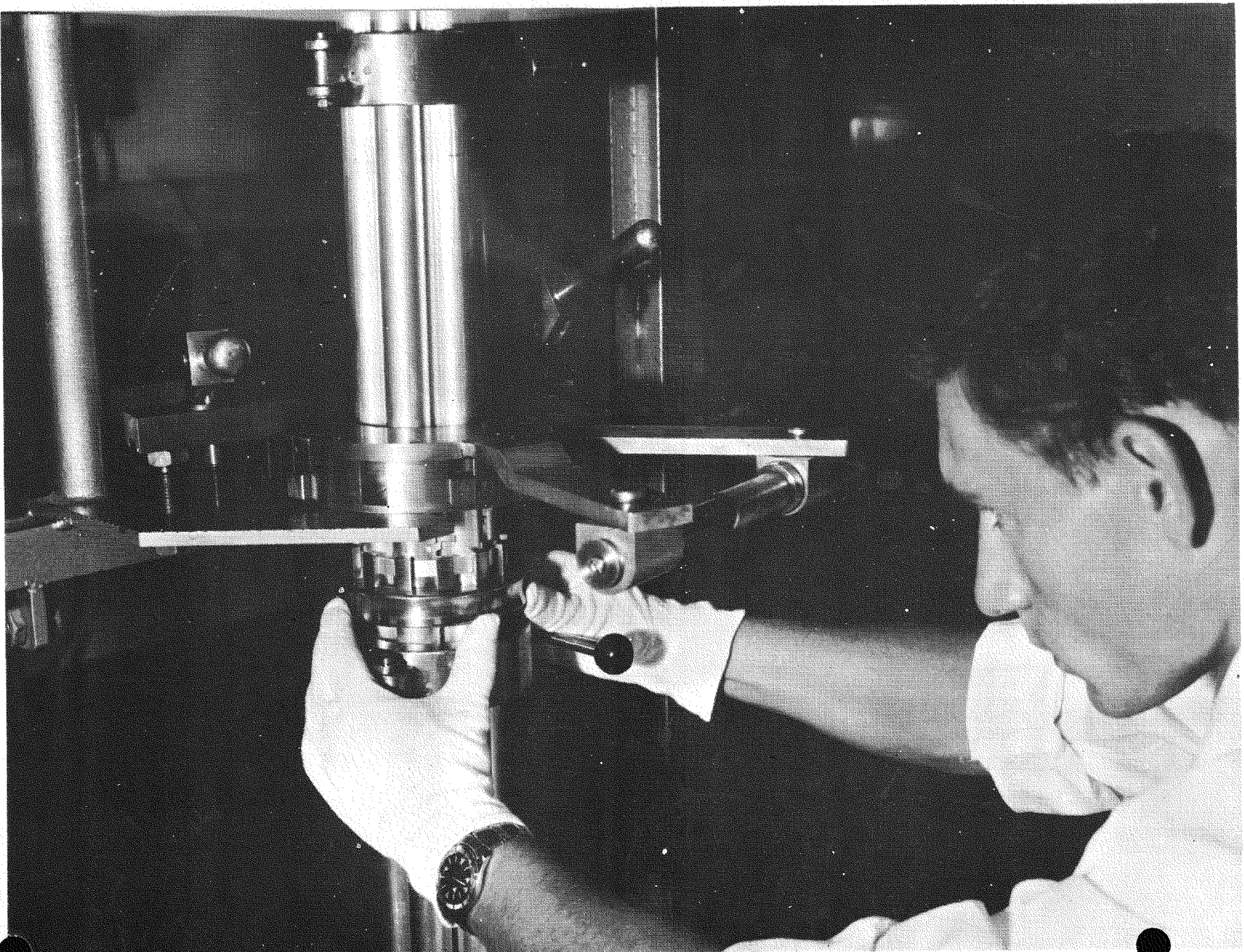


Fig. 24 : Montage des grappes - détail.

