

CEA 2290 - BERNARDY de SIGOYER B., JACQUES F., THOME P.

BARRE COMBUSTIBLE A THERMOCOUPLE GAINÉE DE ZIRCALOY (1963)

Sommaire. - Pour des mesures de conductivité thermique de l' UO_2 dans des conditions voisines du fonctionnement des barres combustibles, il s'agissait de mesurer la température à l'intérieur d'un élément combustible gainé de zircaloy. Les prises de température sont faites par thermocouples du type Thermocoax, c'est-à-dire pourvu d'une gaine très mince en inox ou inconel.

Par ailleurs on sait que le soudage par fusion du zircaloy sur l'inox est impossible et que les brasures à haute température sont difficiles car très agressives.

La technique utilisée consiste à braser les thermocouples sur des pièces en inox relativement massives et de rapporter par soudage au bombardement électronique ces bouchons sur des raccords diffusés zircaloy-inox. Les propriétés de ces raccords diffusés et celles de joints brasés ont été étudiées ; on expose également les diverses étapes de fabrication des containers.

CEA 2290 - BERNARDY de SIGOYER B., JACQUES F., THOME P.

ZIRCALOY-SHEATHED ELEMENT RODS FITTED WITH THERMO-COUPLES (1963)

Summary. - In order to carry out thermal conductivity measurements on UO_2 in conditions similar to those under which fuel rods are used, it was necessary to measure the temperature at the interior of a fuel element sheathed in zircaloy. The temperatures are taken with Thermocoax type thermocouples, that is to say fitted with a very thin sheath of stainless steel or inconel.

It is known also that fusion welding of zircaloy onto stainless steel is impossible and that high temperature welded joints are very difficult because of their aggressiveness.

The technique used consists in brazing the thermocouples to relatively large stainless steel parts and then joining these plugs by electron bombardment welding to diffused stainless steel-zircaloy couplings. The properties of these diffused couplings and of the brazed joints were studied ; the various stages in the fabrication of the containers are also described.

**PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**BARRE COMBUSTIBLE A THERMOCOUPLE ,
GAINÉE DE ZIRCALOY**

par

**B. BERNARDY de SIGOYER , F. JACQUES
P. THOME**

RAPPORT C.E.A. n°2290

**CENTRE D'ETUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY**

- Rapport C.E.A. n° 2290 -

Service de Technologie

BARRE COMBUSTIBLE A THERMOCOUPLE, GAINÉE DE ZIRCALOY

par

Bruneau BERNARDY de SIGOYER, François JACQUES
et Paul THOME

Rapport technique n° DM-T/RT-44 du 6 juin 1962

- 1963 -

BARRE COMBUSTIBLE A THERMOCOUPLE, GAINEE DE ZIRCALOY

par MM. BERNARDY de SIGOYER [✱]

JACQUES ^{✱✱}

P. THOME ^{✱✱}

La mesure des températures à l'intérieur des barreaux combustibles gainés de Zircaloy soulève de nombreux problèmes d'ordre métallurgique et mécanique, dus à la très faible épaisseur de gaine du thermocouple, aux difficultés de liaison entre zircaloy et inox et au dessin propre de la cartouche.

Ces barreaux comportent un bouchon inox sur lequel sont brasés un nombre suffisant de thermocouples, et une pièce de transition zircaloy-inox diffusée. Le brasage entre zircaloy et inox - sans doute possible dans certaines conditions - a été rejeté après quelques recherches préliminaires.

Cette fabrication nouvelle a fait appel à un grand nombre de tests sur les divers éléments, et de contrôle au cours des étapes successives de fabrication.

✱ Chimie des Solides, Section des Combustibles Céramiques

✱✱ Service des Eléments Combustibles et Structures, Section des
Techniques Avancées

I - ETUDES ANTERIEURES SUR LES ASSEMBLAGES BRASES ZIRCALOY-INOX -

La formation d'intermétalliques fragiles entre le zirconium et l'inox, et les métaux de brasage rendent difficiles les techniques classiques de brasage. De plus, la différence des coefficients de dilatation entraîne des contraintes thermiques qui provoquent fréquemment la rupture des joints.

A) - BRASAGE DE PIÈCES TUBULAIRES DANS UN BOUCHON ZIRCALOY

Pour ces études entreprises au Service de Chimie des Solides (1) une pièce tubulaire \varnothing 1.1/1.6 ou canon est brasée sous vide au bouchon avec l'alliage Zr-Be 5 % ou avec le cuivre seul. Le thermocouple est ensuite brasé à l'argent (Ag 62) à l'extrémité libre du canon.

L'eutectique Zr-Be 5 % a fait l'objet d'un certain nombre de publications sur le brasage du zircaloy à lui-même ou à l'acier inoxydable (2). Malgré une grande fragilité, il est spécialement intéressant pour ses qualités de mouillabilité et sa résistance à la corrosion (3). Le brasage par diffusion de cuivre semble donner un joint moins fragile.

Deux types de canon ont été essayés ainsi qu'un certain nombre de bouchons différents tendant à réduire les contraintes (fig. 5). Les résultats sont résumés sur le tableau I.

TABLEAU I

BRASURE Zr/Be 5 %

Bouchon Zircaloy type	canon acier inoxydable	Nombre de canons	Nombre d'essais	Etanchéité	
				Avant	après cyclage
A _I	embase filetée Ø 5 mm	2	2	0	
A _{II}	tube lisse Ø 1.1/1.6	3	12	8	1 canon sur 3 non étanche

BRASURE Zr/Cu

A _{II}	tube lisse Ø 1.1/1.6	3	1	1	
B	tube lisse Ø 1.1/1.6	1	2	2	entre 10 et 20°C 1 fuit après 10 cycles 1 fuit après 13 cycles
B avec épaule- ment	tube lisse Ø 1.1/1.6	1	2	0	
A _{III}	tube avec épaulement	3	5	1 canon sur 3 fuit	
A _{IV}	tube avec épaulement	2	4	2	

RESULTATS -

a) - On observe généralement une fusion excessive à la base du canon à embase filetée et des brasures qui paraissaient saines présentent des fissures après vieillissement de deux semaines

b) - Le canon lisse est préférable mais l'examen fait apparaître un manque de reproductibilité grave en accord avec les conclusions de Mc ANDREW (2)

c) - Aspect micrographique :

c.1 Brasage à Zr-Be 5 % (fig. 1 et 2)

présence de zones non liées entre l'inox et la brasure et nombreuses fissures à l'interface - brasure zircaloy.

Les zones non liées semblent dues à des défauts localisés de mouillage. Tandis que les fissures sont certainement provoquées par les fortes tensions dont la brasure est le siège au cours du refroidissement.

c.2 Brasage au cuivre (fig. 3 et 4)

a) - La zone de liaison n'est pas symétrique par rapport à l'axe du canon, son épaisseur varie dans des proportions assez importantes.

b) - Cette zone de liaison présente de nombreuses fissures et parfois des trous de retassure.

- c) - D'une façon générale la couche de liaison est trop épaisse et les fissures se localisent de préférence dans les zones épaisses et au voisinage du zircaloy.

Ces constatations amenèrent l'abandon de ces types de brasure qui sont mal adaptées au problème du passage de thermocouples dans des bouchons de zircaloy.

B) - ETUDE DE LA BRASURE Zr-Be 5 % :

Simultanément à ces recherches, une étude a été faite (4) des propriétés d'éprouvettes standards de brasage pour essais en cisaillement et en traction (5). Il est essentiel d'assurer exactement le centrage de manière à garder un jeu conforme et obtenir des résultats reproductibles. Nous avons étudié l'influence des jeux sur la résistance mécanique, la brasure étant du fait du cycle thermique, soit en compression (pièce mâle zircaloy), soit en traction.

Les résultats ont montré qu'il était indispensable d'avoir un freinage au refroidissement (mâle zircaloy) pour obtenir des résultats reproductibles avec des brasures non fissurées, et de plus fortes résistances mécaniques; dans ces conditions, une variation du jeu à chaud de 6/100 à 18/100 mm était sans effet. Les brasures sont étanches à l'hélium, elles sont cependant très fragiles. Des cyclages thermiques rapides ont été faits

entre 15 et 300°C sans ennuis sur des éprouvettes de Ø 4 mm, cependant il faut prendre garde à ne pas transposer à des pièces de formes différentes. Les propriétés mécaniques sont représentées sur les figures 6 et 7.

II - BRASAGE DES THERMOCOUPLES SUR LES BOUCHONS INOX -

On a choisi des brasures à haut point de fusion, résistantes à la corrosion. L'opération brasage elle-même est délicate, la température doit être minutieusement contrôlée, et peu d'alliages de brasure sont applicables : il y a toujours un minimum de diffusion qui est très critique étant donné la très faible épaisseur de la gaine du thermocouple. Même lorsqu'une brasure satisfaisante a été trouvée, il est essentiel de ne pas faire travailler mécaniquement le thermocouple au niveau de la zone brasée toujours fragile à cause de la présence d'intermétalliques.

A - GEOMETRIE DES PIECES -

Le bouchon préconisé (fig. 20), servant de passage aux thermocouples assure les fonctions suivantes :

- a) - Il possède évidemment une collerette pour soudage sur la capsule.
- b) - le corps du bouchon comporte des orifices nécessaires pour le passage des thermocouples, ainsi que des orifices débouchant dans les précédentes, situés en dessous de la collerette de soudage, qui servent de logement pour la mise en place de la brasure.

c) - faisant masse avec le bouchon, deux disques sont prévus aux extrémités, afin de reporter obligatoirement en des endroits non brasés les déformations possibles imposées aux thermocouples. Pour éviter que la brasure ne grimpe par capillarité le long du thermocouple, on adjoint avant brasage un produit ("Stop Off") réfractaire entre le corps du bouchon et les disques d'extrémité, empêchant ainsi le mouillage.

B - MODE OPERATOIRE -

Les études de brasage ont été effectuées par Monsieur BLANCHET à la SNECMA (6) sur les métaux d'apport du groupe Ni-Cr. Parmi les alliages de ce groupe a été retenu le nichrobrazé 50 de Wall Colmonoy spécialement intéressant parce que dépourvu de Bore.

Désignation	Température de fusion		Températures de brasage recommandées en °C	Analyse chimique						
	Solidus °C	Liquidus °C		P	Si	B	Cr	Fe	C	Ni
Nichrobrazé	920	920	1 020	10	-	-	13,10	0,2	0,05	reste

a) - Brasage au four sous vide -

Aux températures de brasage recommandées par le fournisseur, les alliages Nichrobrazé 50 donnent lieu à des phénomènes importants de pénétration inter cristalline et de dilution avec le métal de base. L'épaisseur de la gaine du thermocoax étant très faible, environ 0,12 mm, nous avons essayé de

réduire ces phénomènes en recherchant des températures de brasage plus basses que celles conseillées. Pour ces essais des pièces sont prises comme éprouvettes de l'influence de la température de brasage et jugées par examen micrographique sur une coupe passant par l'axe. Les résultats obtenus sont donnés ci-après :

Température de brasage en °C	Temps de maintien à température en mn	Observations micrographiques
1080	2	très bonne mouillabilité sur toute la hauteur du joint, forte pénétration intercrystalline et dilution de toute l'épaisseur du thermocoax
980	10	Bonne mouillabilité, peu de pénétration intercrystalline et de dilution
960	10	Mauvaise mouillabilité

Suite à ces essais a été retenu pour le brasage au four sous vide les conditions suivantes :

- Nichrobrazé 50 : 980°C - 10 mn.

b) - Chaufrage par induction -

Les essais de chauffage par induction ont été réalisés sur un poste dont les caractéristiques sont les suivantes :

Puissance 6 Kw
Fréquence 600 000 Hz
Inducteurs tube de cuivre Ø 2 x 4 mm

Les premiers essais ont été réalisés par chauffage à l'air avec protection du joint par flux Nichrobrazé. Ce mode d'exécution ne permet pas de contrôler visuellement le mouillage du métal d'apport, le flux bouillonnant en surface. Les pièces étant très délicates à exécuter, nous avons abandonné le chauffage à l'air pour le réaliser sous atmosphère d'argon. La pièce est logée à l'intérieur d'une éprouvette en verre dans laquelle on fait débiter de l'argon; l'inducteur est placé à l'extérieur du tube. Le Nichrobrazé 50 nécessitant un chauffage aux environs de 1000°C ne présente pas de difficulté

L'aspect micrographique est très voisin de celui des pièces chauffées sous vide. Le métal fondu avec le Nichrobrazé 50 une dureté de 520 Hv 50 g.

III - JONCTION ZIRCALOY-INOX -

Pour réaliser ces pièces de transition entre Zircaloy et acier inoxydable, on a repris les travaux antérieurs sur la liaison par diffusion de ces deux métaux.

Ce procédé a fait l'objet de nombreuses études (7, 8, 9, 10), il est valable pour des assemblages de faibles diamètres devant résister à des cycles thermiques.

3,1 - Géométrie des pièces -

La forme tubulaire adoptée pour les pièces est terminée par des parties coniques qui s'emboîtent (figure 8), la pièce femelle est l'acier inoxydable. Du point de vue facilité expérimentale il semble contradictoire d'adopter un emmanchement où la pièce femelle soit en acier inoxydable, car cet acier a un coefficient de dilatation triple de celui du zircaloy 2 ($6,5.10^{-6}^{\circ}\text{C}$).

Bien que des essais aient été réalisés en Italie aux Laboratoires de la C.I.S.E. (8) sur des pièces semblables, mais où l'acier est en partie mâle, la position de l'acier inoxydable en femelle est préférable, à condition d'exercer une pression légère pour mettre en contact les pièces à chaud; au refroidissement, la zone diffusée est frettée. La forme conique donnée aux pièces est choisie pour deux raisons; la première, est de diminuer le plus possible dans la soudure, les contraintes dues à la différence de dilatation des deux matériaux, la deuxième est que la conicité des extrémités augmente la surface de contact des deux métaux à souder, ce qui améliore donc la tenue mécanique de l'ensemble. Il faut ajouter que nous avons adopté pour cette partie conique un angle de 5° , bien que dans toutes les études qui ont été faites sur des pièces similaires les auteurs aient pris un angle de 10° sans trop en

préciser les raisons. Nous espérons pouvoir par la suite faire une étude systématique de l'influence de la conicité, sur la qualité de la jonction.

3.2 - Mécanisme de la soudure par diffusion -

La soudure par diffusion nécessite une température très inférieure au point de fusion des métaux à souder, ce qui est un avantage pour les métaux à haut point de fusion.

- soit deux pièces de métaux différents A et B que l'on veut souder, on usine au mieux les surfaces de contact, puis on porte l'ensemble des deux pièces en contact à une température T_1 (figure 9 b). Si le diagramme d'équilibre de ces deux métaux à la forme représentée à la figure 9 a, en plaçant l'ensemble à une température T_1 , nous favorisons l'interdiffusion de ces deux métaux, au bout d'un certain temps t_1 au voisinage de A, nous allons avoir formation de la solution solide α , au voisinage de B, nous aurons la solution solide β (figure 9 c), puis si le temps t_2 de maintien en température est suffisant la concentration de B dans α dépasse en concentration X_1 de même pour la concentration A dans β , il y a alors formation d'une phase liquide (figure 9 d), si on laisse encore l'ensemble à la température T_1 , temps t_3 , la phase liquide, par le même mécanisme, augmente de volume. Quand on refroidit l'ensemble à une température $T_2 < T_E$, la phase liquide se solidifie sous forme de solution solide α et β et avec formation d'eutectique, ce qui fait que les deux pièces se trouvent soudées. Nous voyons donc que ce qui importe pour ce processus, c'est que la température T_1 soit supérieure à la température du palier eutectique T_E .

Dans le cas de la soudure de l'acier inoxydable et du zircaloy 2, le mécanisme de la formation des phases

intermédiaires est plus compliquée du fait que nous sommes en présence non pas de métaux purs, mais d'alliages, les compositions respectives de ces deux alliages étant :

	Zr	Fe	Ni	Cr	Sn	O2	N2	Si	Mn
Zr 2	compl.	0,1	0,05	0,1	1,5	0,17	0,01	-	-
Acier Inox	-	compl.	8	18	-	-	-	1	2

Si nous considérons les diagrammes d'équilibre des principaux métaux en présence : Fe, Zr, Cr, Ni (voir figures 10 à 12), nous relevons pour les températures des paliers eutectiques les valeurs suivantes :

Eutectique Zr Fe à 76 % Zr - 24 % Fe - 934 °C
" Zr Ni à 76 % Zr - 24 % Ni - 961 °C
" Zr Cr à 72 % Zr - 28 % Cr - 1 300 °C

Nous cherchons à avoir la formation des eutectiques Zr Fe et Zr Ni, il nous suffirait donc d'opérer à une température supérieure à 961 °C, mais en raison des vitesses de réaction, pour diminuer la durée de l'opération nous opérons aux environs de 1 020 à 1 030 °C.

3.3 - Conditions opératoires et appareillage -

Le mode de chauffage adopté pour ces essais est le chauffage par induction, sous un vide de 10^{-3} mm de Hg environ. Les pièces à souder se trouvent dans un tube de quartz (voir figure 13).

Les mesures de température se font à l'aide d'un thermocouple chromel - alumel, sous gaine inox, dont l'extrémité est en contact à l'intérieur de l'ensemble. Le positionnement de la pièce et du thermocouple est tel que le milieu de la zone à souder soit placé au milieu de la spire et coïncide avec l'extrémité du thermocouple ceci de façon à mesurer la température à laquelle sont portées les pièces. Le centrage des pièces dans le tube de quartz est important, car à la température où nous opérons, et vu la faible épaisseur des extrémités des parties coniques, si les pièces ne sont pas droites, il se produit un fluage, ce qui fait que les pièces une fois soudées ne sont plus alignées, ce défaut d'alignement augmente la difficulté d'usinage des pièces. Pour réduire cet inconvénient, nous diminuerons le jeu des pièces dans le tube de quartz en prenant un tube de diamètre intérieur 9 mm. La cote finale des pièces étant $\varnothing 8/7$, nous utilisons initialement des pièces $\varnothing 8.8/6$ reprise d'usinage après diffusion, mais l'usinage intérieur de ces pièces ayant été la cause dans de nombreux cas de la détérioration de la jonction (arrachements, excentrage ...), due surtout à la dureté de la zone eutectique, nous utilisons maintenant des pièces ayant la cote intérieure définitive de $\varnothing 7$. En position verticale, il est inutile d'exercer une pression pour maintenir les pièces en contact.

Au préalable, les pièces sont décapées dans la solution suivante :

F H	10 à 12 %
NO ₃ H	45 %
H ₂ O	45 %

3,4 - Résultats -

a) - Influence de la température et de la durée de l'opération

La température à laquelle nous avons opéré est de 1 020 - 1 030 °C avec des temps de maintien variant de 15 s à 3 mn.

Si un échantillon reste trop longtemps en température la phase liquide augmente considérablement provoquant des bavures (figures 14 a et b), la comparaison des deux photos montre que le zircaloy 2 est plus attaqué par la phase liquide que l'acier inox.

Comme nous travaillons avec une seule spire de 30 mm d'épaisseur il y a un gradient de température le long duquel varie la largeur de la zone de diffusion (figure 15).

b) - Essais d'étanchéité -

Les pièces utilisées ont toutes subi un test d'étanchéité à l'hélium, après soudage et après usinage final. Les pièces qui n'étaient pas étanches après soudage étaient des pièces qui présentaient un fort défaut d'alignement, de sorte que le contact en certains endroits; n'était plus réalisé, donc la diffusion n'avait pas lieu. Les fuites après usinage ont toujours été dues à des incidents mécaniques lors de l'usinage et non à la qualité de la jonction.

c) - Essais de traction -

Nous avons tout d'abord essayé de faire les essais de traction sur les tubes formés, en perçant des trous de 5 mm, aux extrémités pour les amarrer, mais lors de la traction, la cassure se produit dans le trou d'amarrage côté zircaloy. Nous avons donc réalisé ensuite des éprouvettes du type présenté à la figure a et b, ceci afin d'essayer de décoller le cône inox et de pouvoir calculer la résistance par mm² de surface de soudure, mais la cassure se produit dans l'inox et une portée seulement du cône se décolle (figure 16 c).

Le dessin a été modifié (fig. 17) de façon à connaître la résistance de la jonction par mm² de section perpendiculaire à l'axe de traction.

Nous avons trouvé les résultats suivants :

Température °C	Temps de maintien sec.	Résistance Kg/mm ²
1 030	90	47,5
1 010	90	39*
1 000	90	46
990	90	40

* la pièce présentait un défaut de diffusion à l'emboîtement conique.

d) - Constitution de la zone de diffusion -

La largeur de la zone est variable suivant le temps et la température. Cette zone est formée quand on la regarde au microscope de plusieurs couches (fig. 18 a et b). Tout d'abord au voisinage de l'inox un liseré noir (a) suivi d'une mince couche claire (b), puis une zone plus large (c) d'aspect grisâtre, formée d'une alternance de bandes sombres et de parties claires, ensuite au voisinage du zircaloy nous trouvons une zone (d) formée de grandes plages blanches dans lesquelles on remarque des microfissures. Nous envisageons de faire une analyse à la microsonde de Castaing de ces différentes zones, afin de connaître leur composition exacte, et en particulier la constitution de la zone (d) dans laquelle se forment les microfissures. Il est probable que ces fissures proviennent de l'usinage des échantillons.

e) - Microdureté -

Nous avons effectué des microduretés sous une charge de 1 g, il faut signaler que nous avons trouvé une forte dispersion des mesures pour une même zone de mesure.

Les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

	Inox	Zircaloy	couche c	couche d
H _v	197	205	620	560

3.5 - CONCLUSIONS -

L'assemblage par diffusion de portées côniques paraît satisfaisant pour de nombreuses utilisations. Les essais sont actuellement poursuivis sur la tenue au cyclage thermique, la détermination des contraintes sous charge et des contraintes thermiques, ainsi que la réalisation de pièces de plus fort diamètre.

IV - CONSTRUCTION d'UNE CARTOUCHE à THERMOCOUPLE EL₃ -

Ce type de jonction Zircaloy/acier inoxydable a été appliqué au problème de passages de thermocouples sur 4 cartouches identiques en Zircaloy munies chacune de trois thermocouples, dans le but de préciser les conditions d'un programme d'irradiation d'oxyde d'uranium enrichi exécuté sous contrat Euratom.

Chaque cartouche est constituée de trois tronçons indépendants se vissant bout à bout, l'étanchéité étant assurée par des soudures par bombardement électronique.

Le tronçon inférieur renferme un empilement de pastilles d'acier inoxydable espaçant six moniteurs de flux. La partie inférieure des deux tronçons du haut, ainsi que le bouchon de cartouche, comportent également des moniteurs de flux.

La figure 19 donne les détails de l'ensemble de la cartouche dont la fabrication peut être schématisée comme suit :

I - Préparation des pièces après usinage

- 1) Contrôle dimensionnel - Jeu diamétral entre pastilles d' UO_2 et gaine $\leq 0,04$ mm
- 2) Dégraissage des pièces métalliques.
- 3) Lavage de l' UO_2 à l'alcool - Séchage à l'air.
- 4) Nettoyage des pastilles d'alumine au benzène - Etuvage.

II - Montage -

A - des éléments du bouchon de cartouche (Fig. 20)

- 1) Diffusion Zircaloy/acier inoxydable des deux pièces tubulaires du téton de centrage - Etanchéité - Rectification extérieure et mise à longueur, Etanchéité.
- 2) Soudure par bombardement électronique de la pièce précédente sur le bouchon de cartouche.
- 3) Brasure de thermocouples sur le petit bouchon en acier inoxydable - Etanchéité à l'hélium.
- 4) Soudure par bombardement électronique de l'ensemble précédent sur l'ensemble : téton de centrage/bouchon de cartouche, Etanchéité à l'hélium - Mise en place dans le bouchon du moniteur maintenu par une vis.

B - de l'ensemble de la cartouche (Fig. 21)

- 1) Mise en place des moniteurs de flux et des obturateurs sur les deux tronçons supérieurs.

- 2) Soudure par bombardement électronique des obturateurs.
- 3) Montage des empilements dans chaque tronçon - Dégazage sous vide (10^{-5} mm le mercure) à température ambiante.
- 4) Soudure des tronçons par bombardement électronique.
- 5) Mise en place et soudure du bouchon de cartouche - Ressuage hélium de l'ensemble.
- 6) Cartouche terminée (Fig. 22)

CONCLUSION -

Les jonctions côniques Zircaloy/Acier Inoxydable permettent de résoudre le problème de sorties de thermocouple sur des cartouches en Zircaloy.

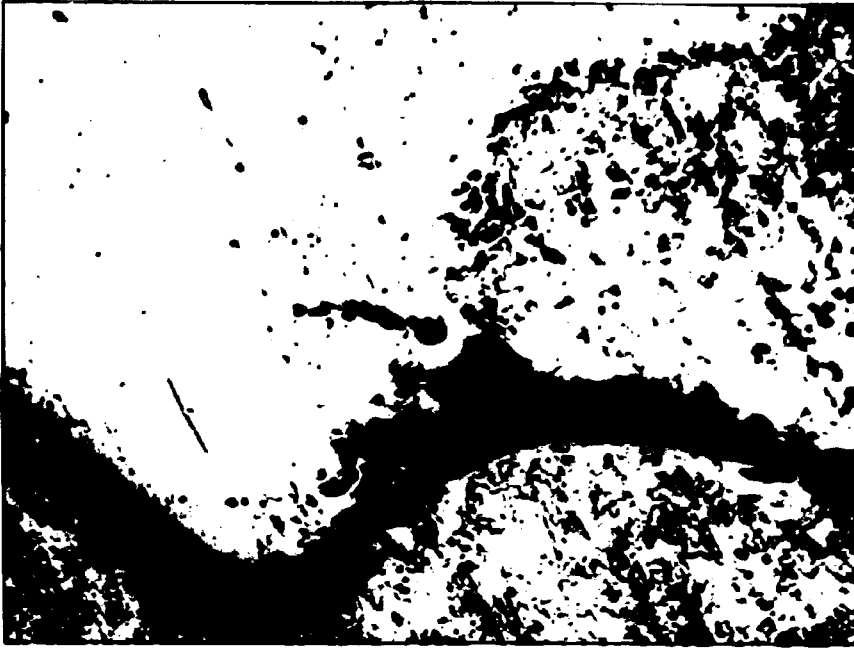
Une des 4 cartouches décrites précédemment a été irradiée dans EL_3 les 28 et 29 Mai 1962. Les trois autres seront mises en pile en Septembre et l'une d'elles y restera durant un cycle complet.

Manuscrit reçu le 3 mai 1963

BIBLIOGRAPHIE

- (1) - Etude contrat O31.60 - 10 R D F - 1961
Rapports trimestriels - 3ème trimestre 1961
4ème trimestre 1961
1er trimestre 1962
"Essais de brasage de passages de thermocouples sur des bouchons de cartouches en zircaloy" par B. BERNARDY de SIGOYER
- (2) - Mc ANDREW
Welding Journal 1958 529s - 534s
- (3) - W. FEDUSKA
Welding Journal 1959 289s - 295s
- (4) - Etude du brasage zircaloy - inox avec la brasure Zr-Be à 5 % par R. ROUDIER et P. THOME
Rapport "Jonctions EL 4 - Octobre 1961" - Annexe 10
- (5) - E. J. CLARK - Welding Journal 1959 - 251s - 258s
- (6) - Brasage de thermocouples "Thermocoax sur support"
P. BLANCHET - rapport SNECMA - Y L K N° 3300 - Juillet 1961
- (7) - "Diffusion bonding Zircaloy to stainless tubing S₃ G Task 82"
General Electric Company : I.M. GERKEN - 1957
- (8) - Soldatura metallurgica tra acciaio inossidabili e Zircaloy 2
Laboratorio di Tecnologia - Milano
- (9) - N.P.R. - Tube to nozzle connection and zircaloy 2 to stainless Steel tube connection"
W.R. SMITH, H.H. KLEPPER - G.E.A.P. - 3089 (1958)
- (10) - "Eutectic brazing of Zircaloy 2 to type 304 stainless steel"
W.A. ONCZARSKI - The welding journal 41 (2) -
781-830 Feb. 1962

Acier inoxydable



Brasure

Fig. 1
x 160

Zircaloy

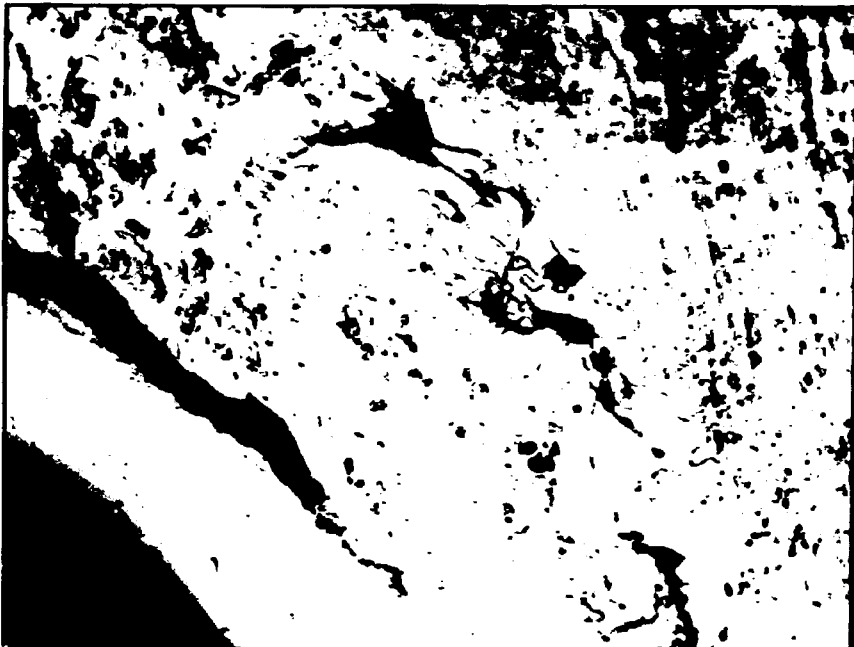
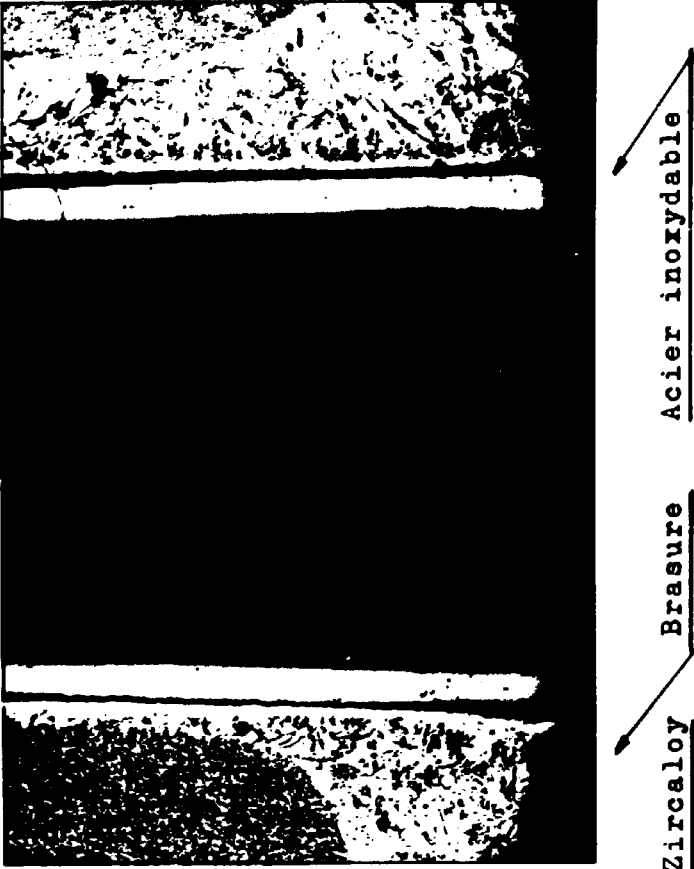


Fig. 2
x 160

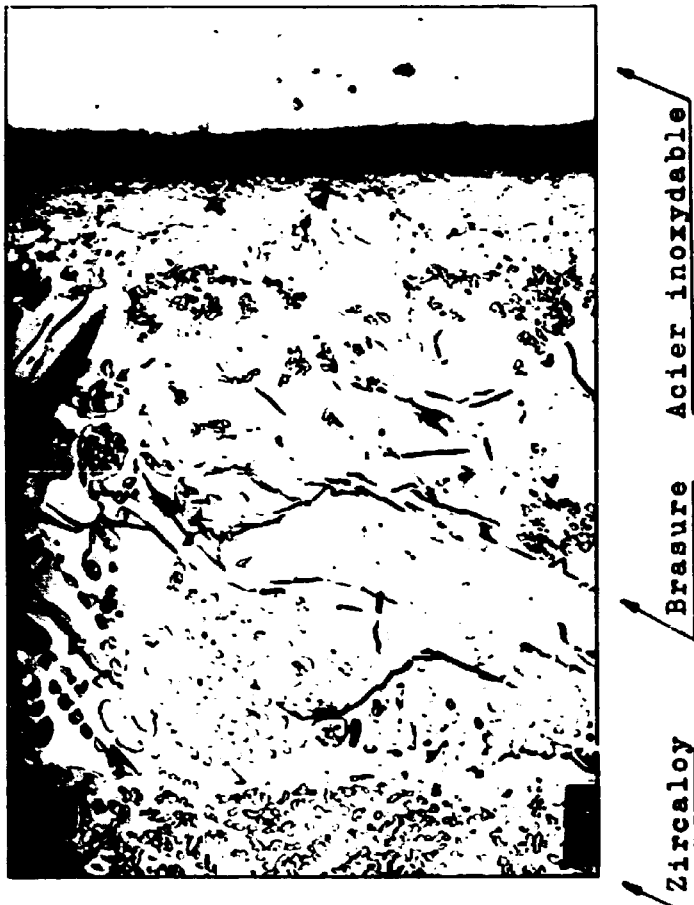
Acier
inoxydable

Brasure

Brasure zirconium/hafnium

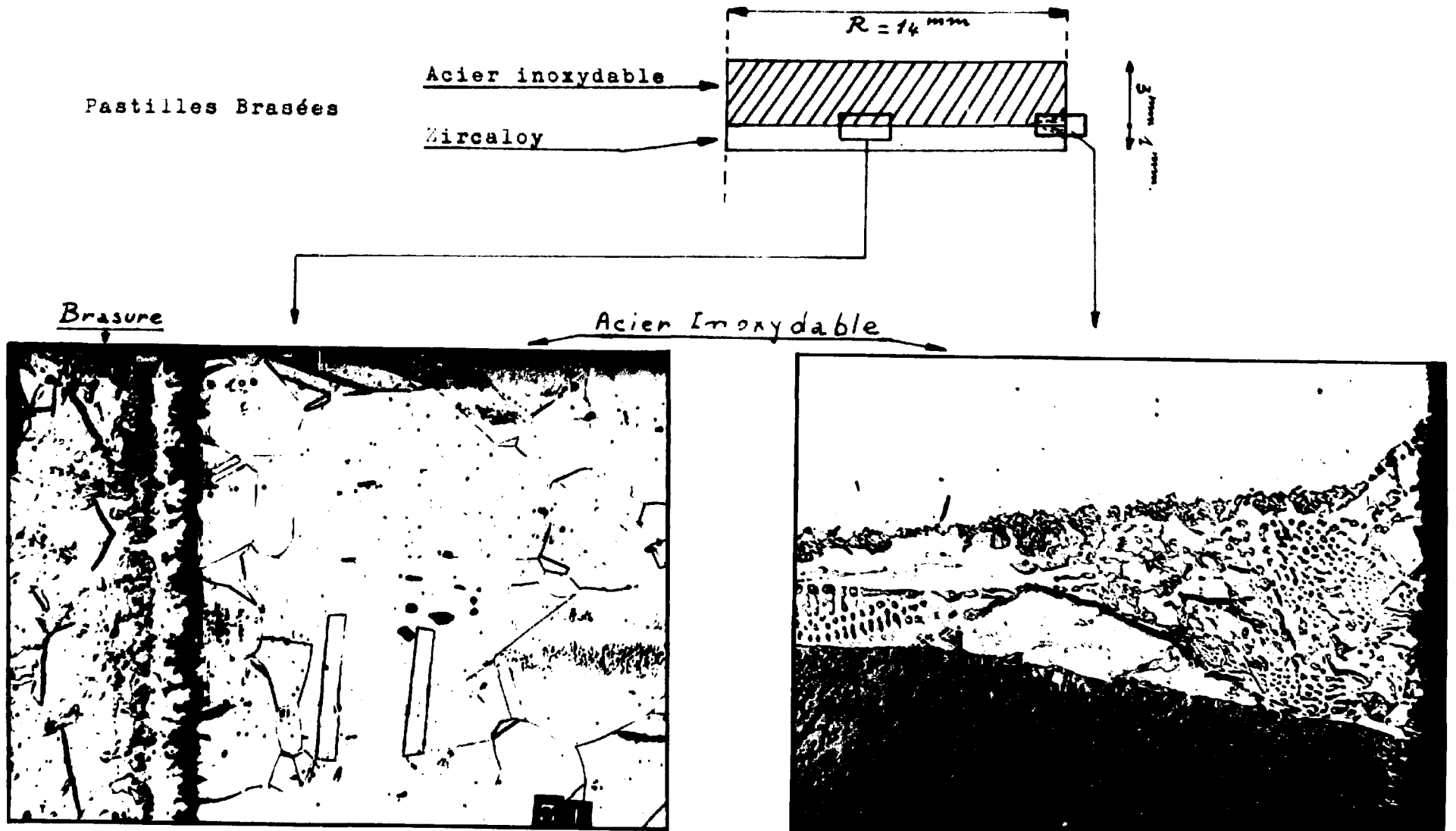


x 50



x 200

Fig. 3
Brasure zirconium/cuivre



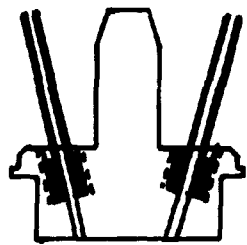
x 200

Attaque chimique électrolytique

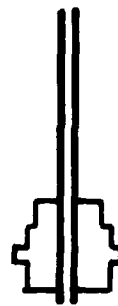
x 200

Fig. 4

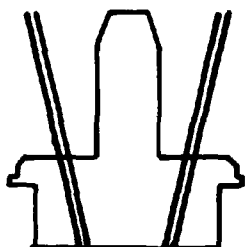
Brasure zirconium/cuivre



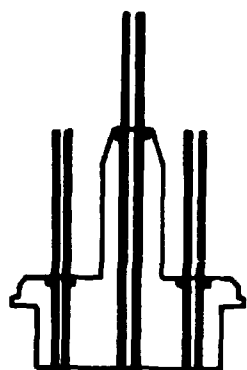
A1



B



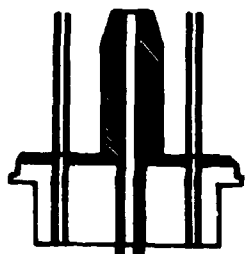
A2



A3



C



A4

Fig. 5
Schéma des pièces brasées

RESISTANCE AU CISAILLEMENT EN FONCTION DES JEUX

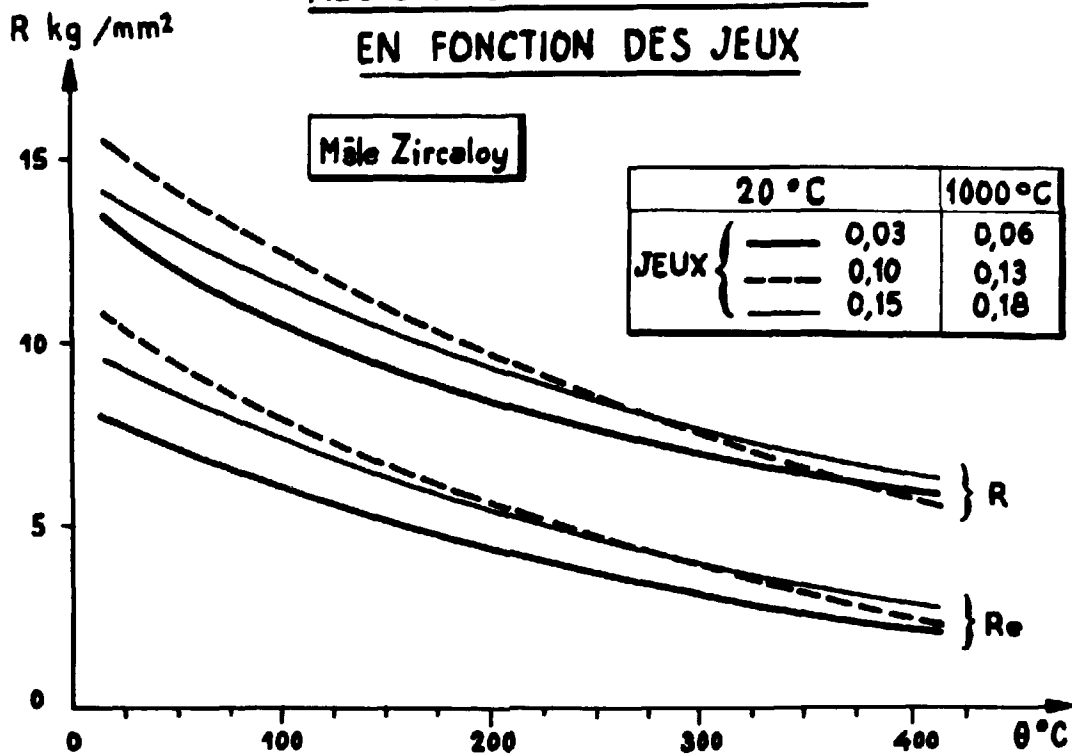
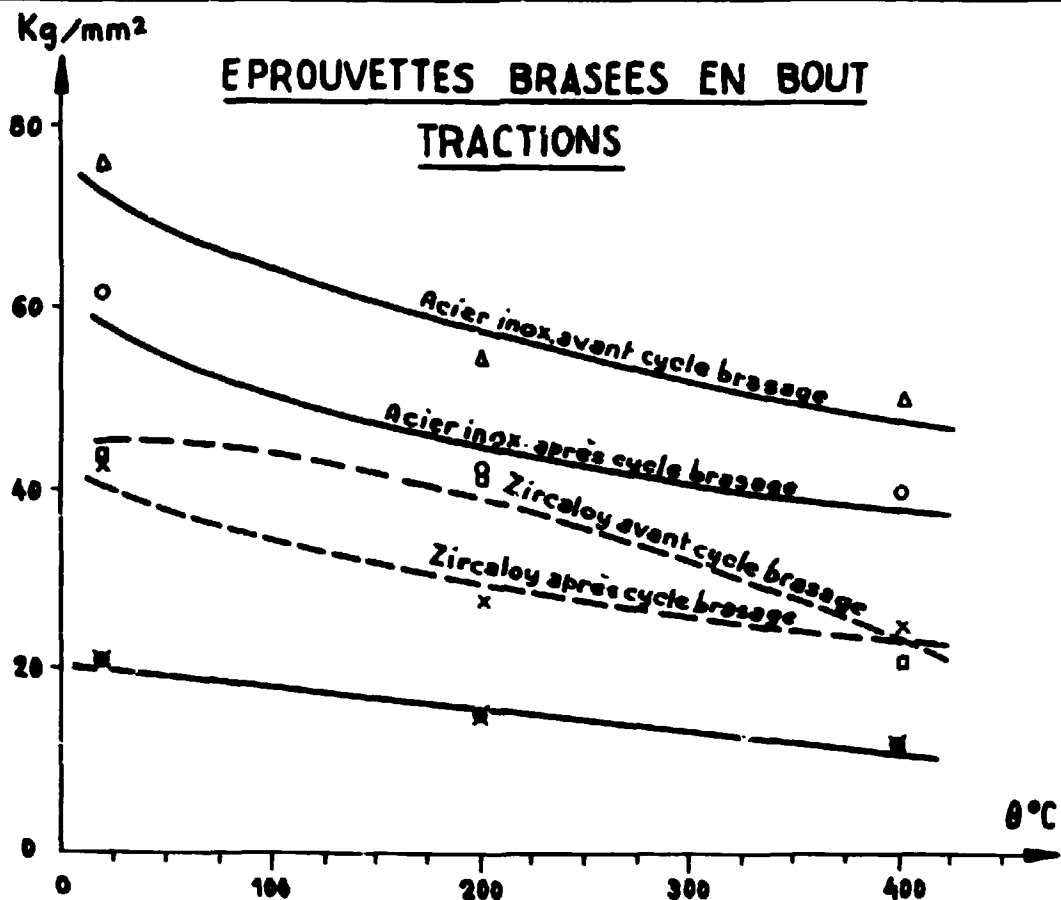


FIG. 6

EPROUVETTES BRASEES EN BOUT TRACTIONS



LEGENDE Δ : Inox brut \square Zr non traité $*$ Joint brassé en bout \wedge
 \circ : Inox traité \times Zr traité

FIG. 7

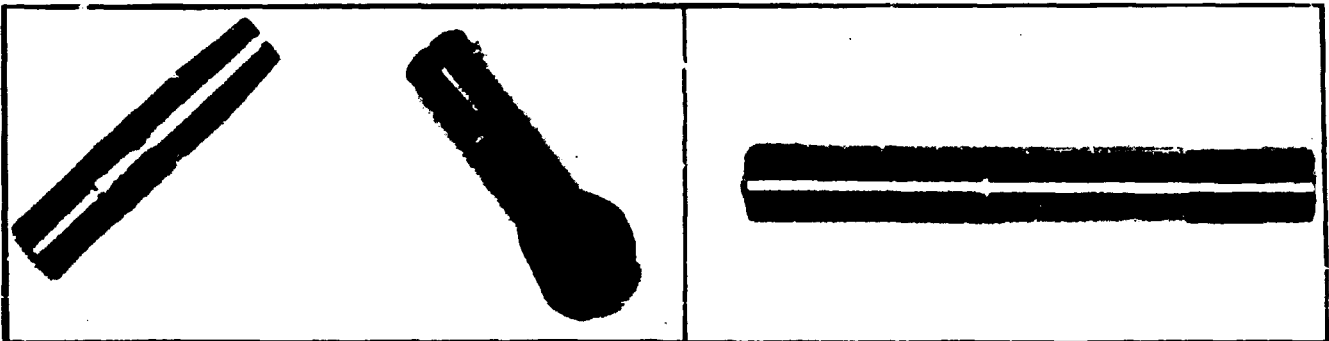
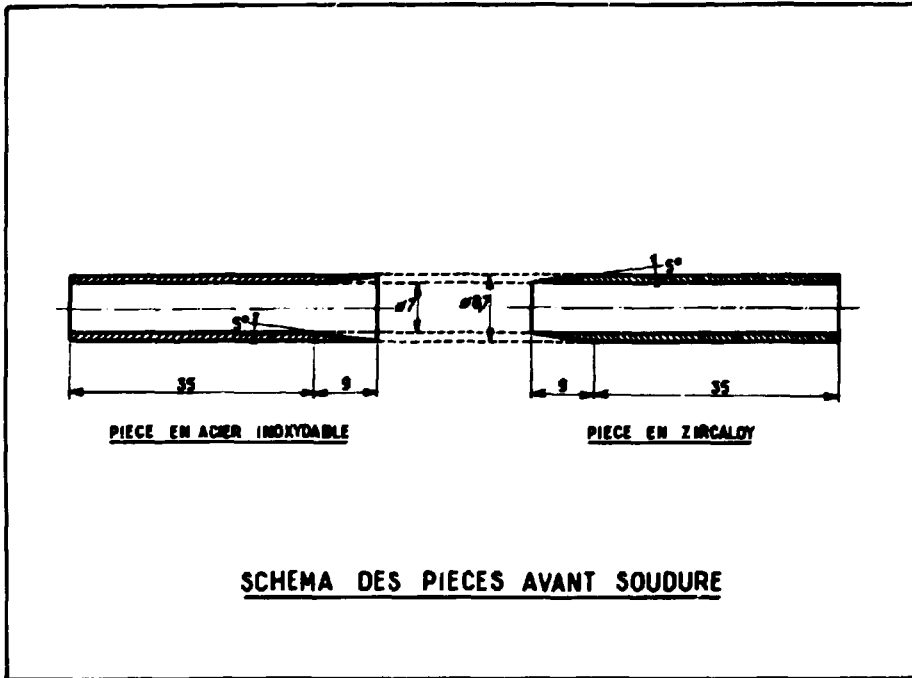


Fig. 8

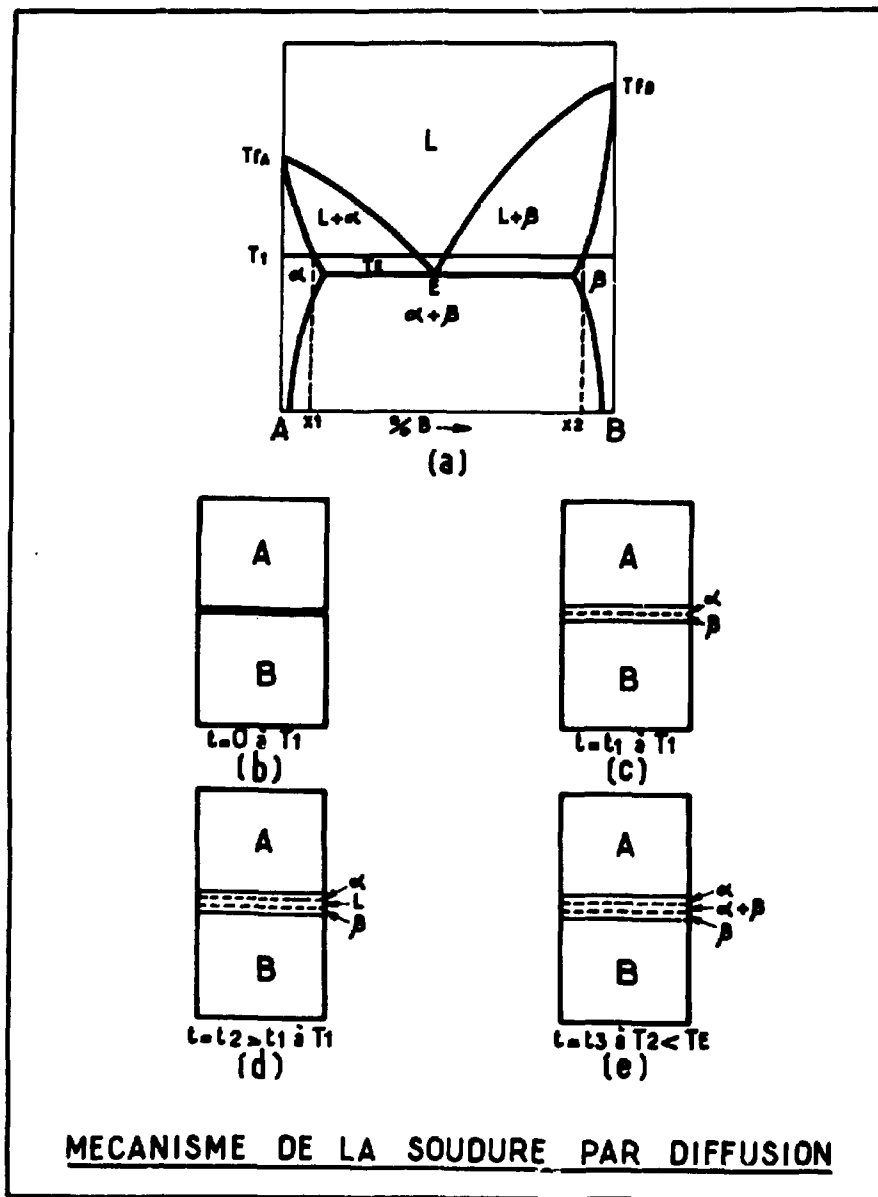


Fig. 9

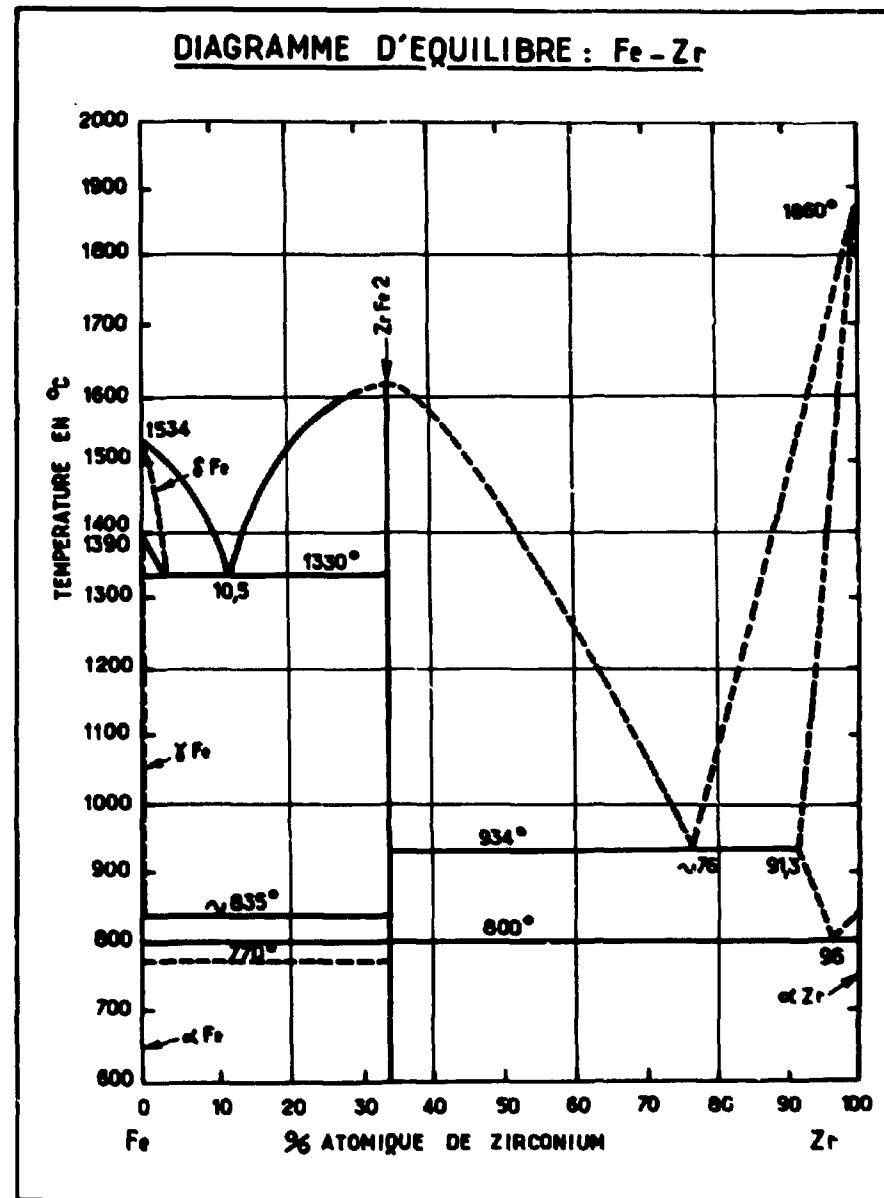


Fig. 10

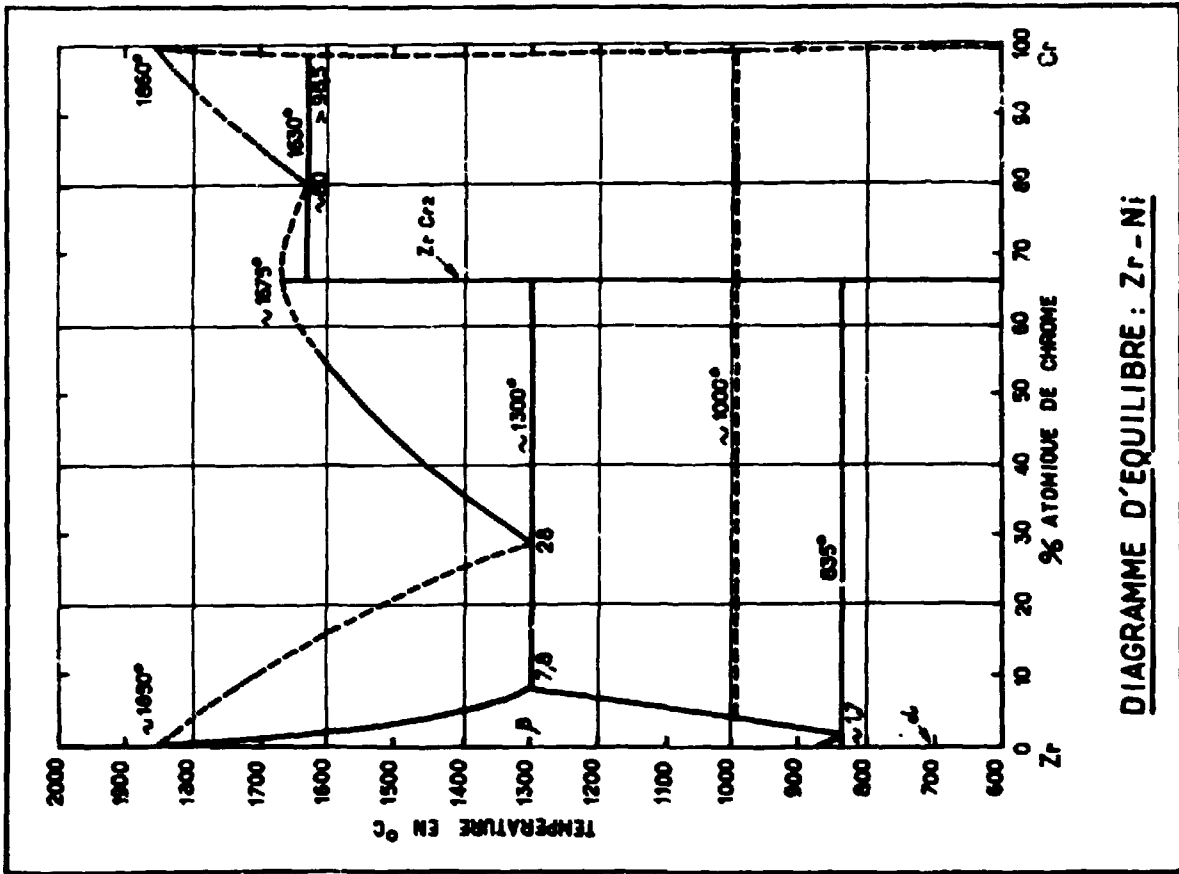


FIG. 11

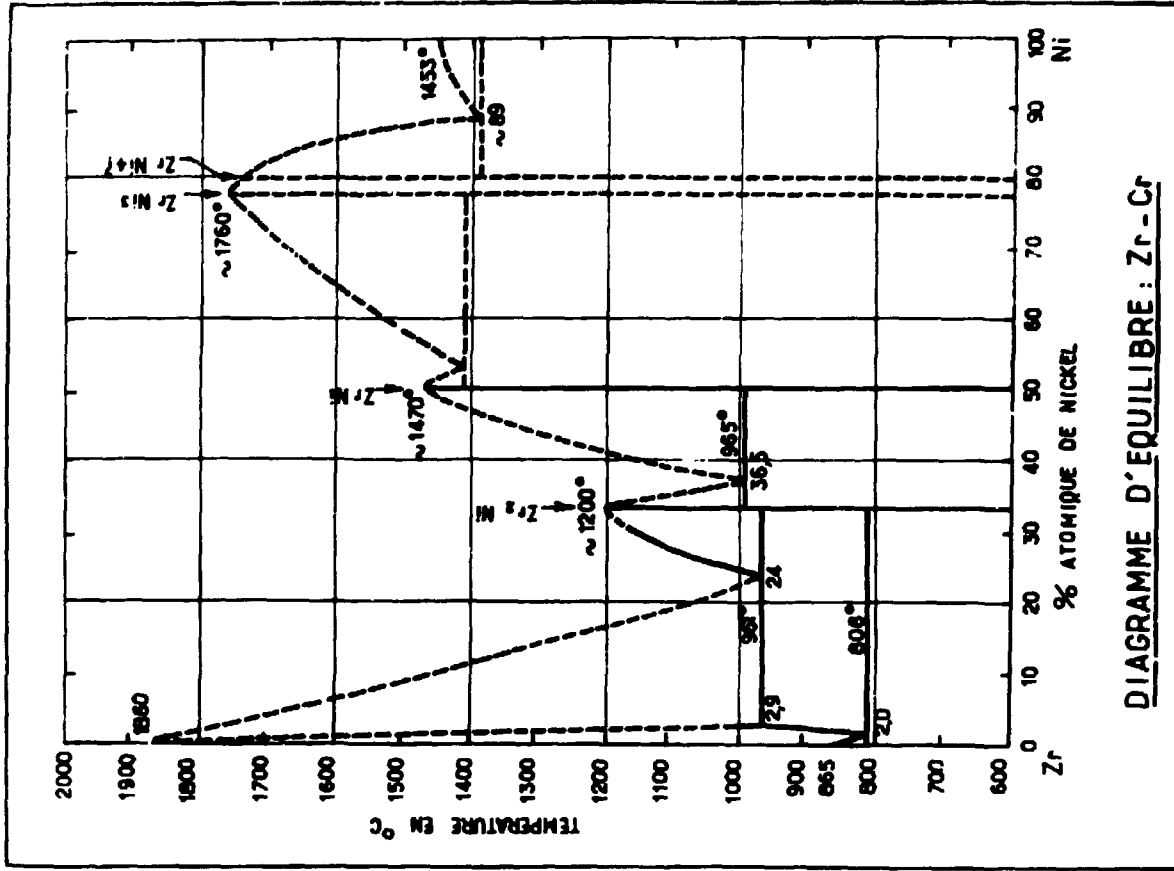
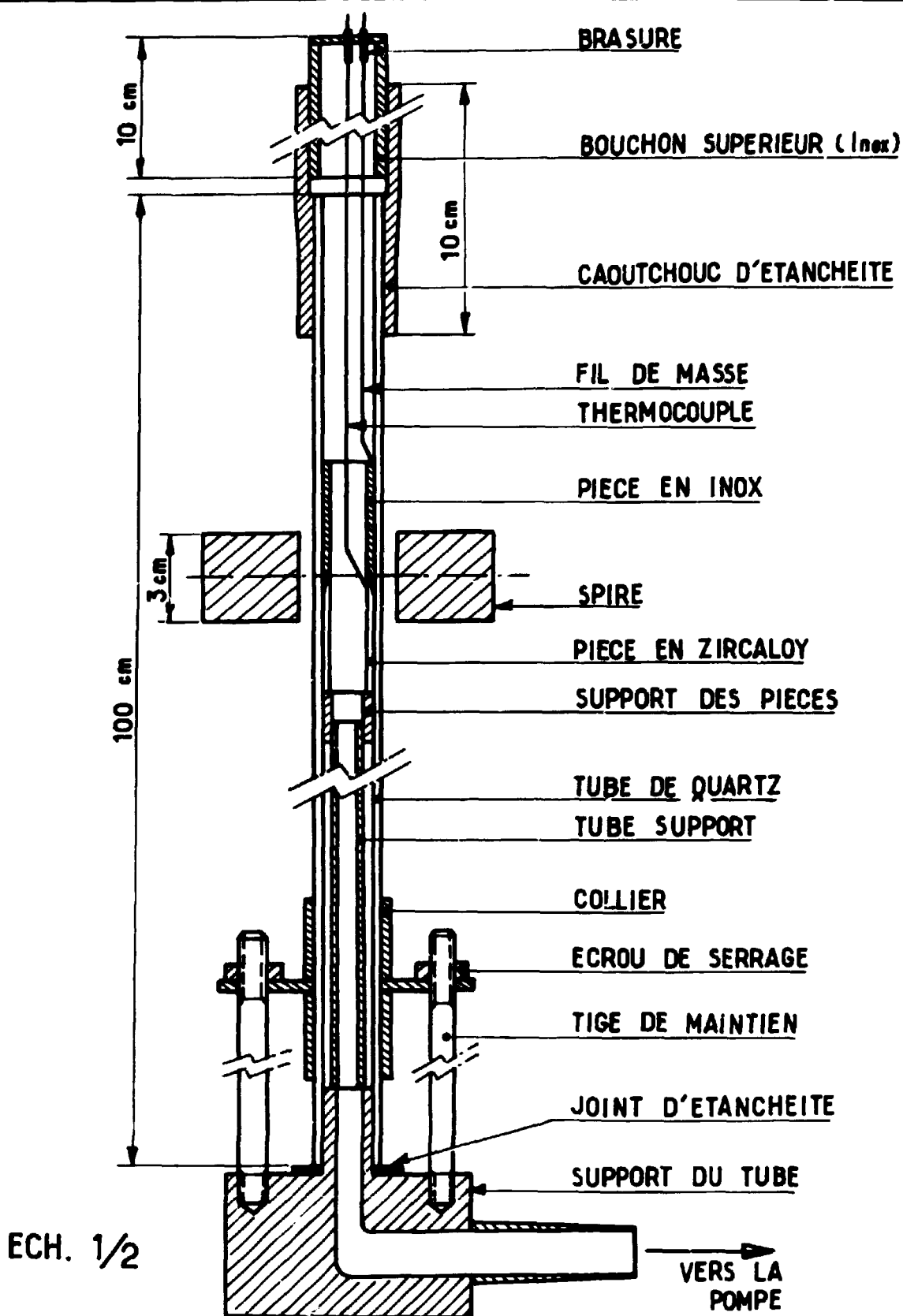
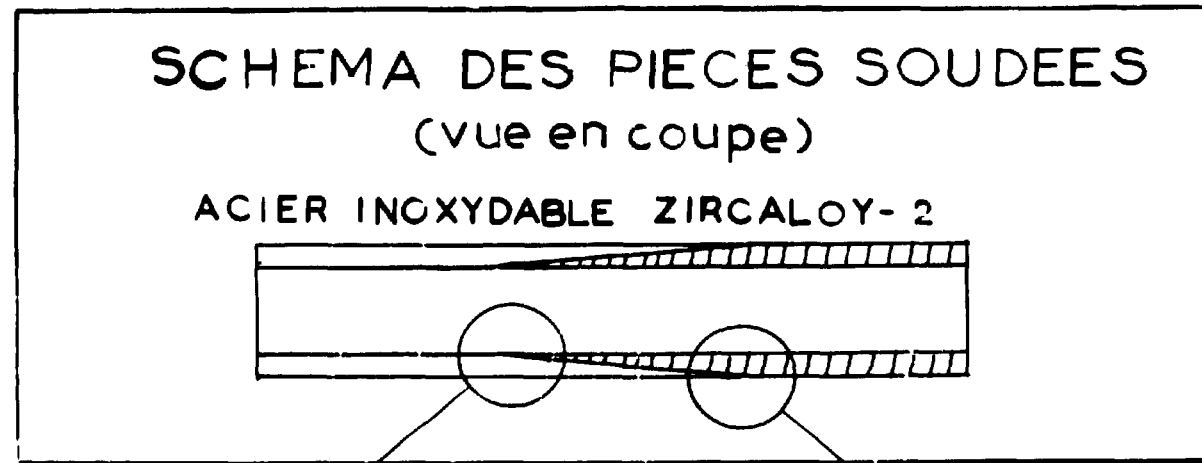


FIG. 12

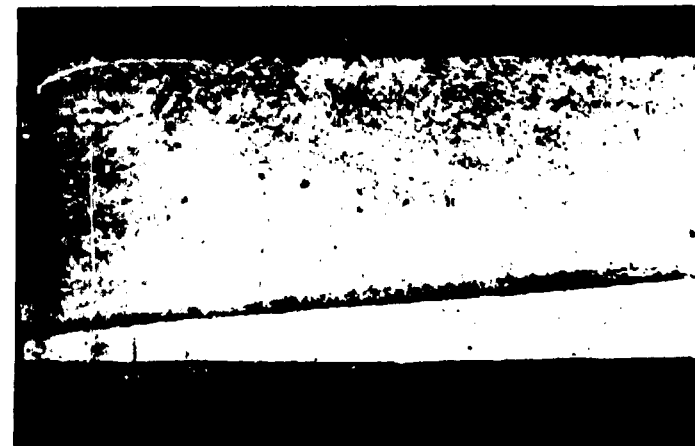


SCHEMA DE L'APPAREILLAGE
(Vue en coupe)

Fig. 13



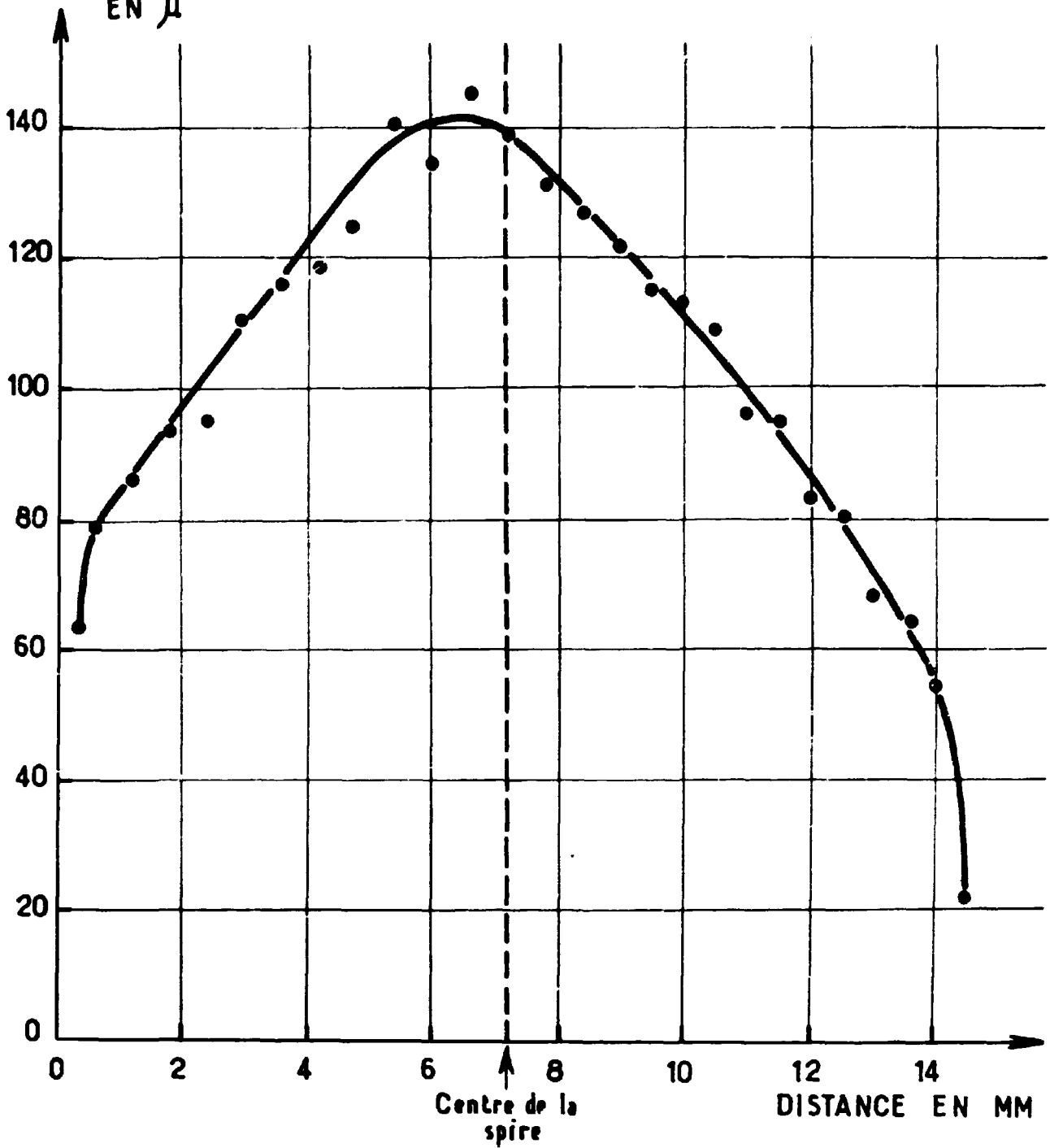
(a)



(b)

MICROGRAPHIES DES EXTREMITES DES CONES. x25

LARGEUR DE LA
ZONE DE DIFFUSION
EN μ



INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA LARGEUR
DE LA ZONE DE DIFFUSION

Fig. 15

SCHEMA DES EPROUVETTES DE TRACTION
(Avant soudure)



Pièce Acier Inex
ECH: 2

Pièce Zircaloy-2
ECH: 2

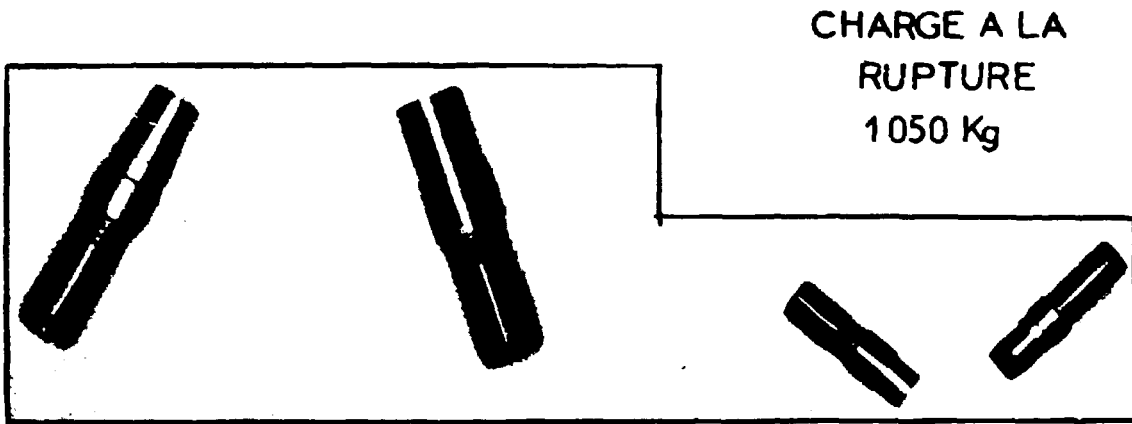
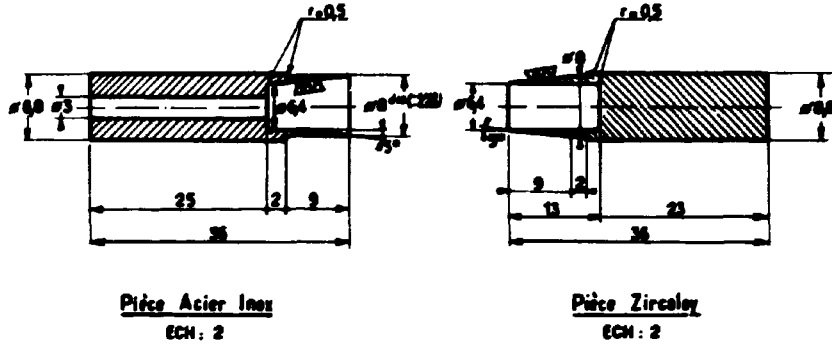


Fig. 16

SCHEMA DES EPROUVETTES DE TRACTION
(Avent soudure)



RESISTANCE
46.5 Kg/mm²

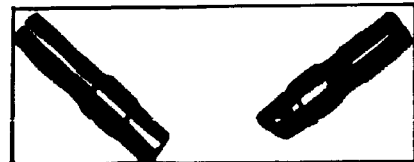
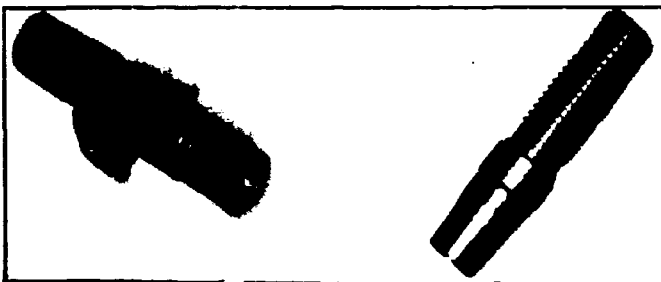


Fig. 17

ZIRCALOY-2 ZONE DE DIFFUSION ACIER INOXYDABLE



MICROGRAPHIE . x 180

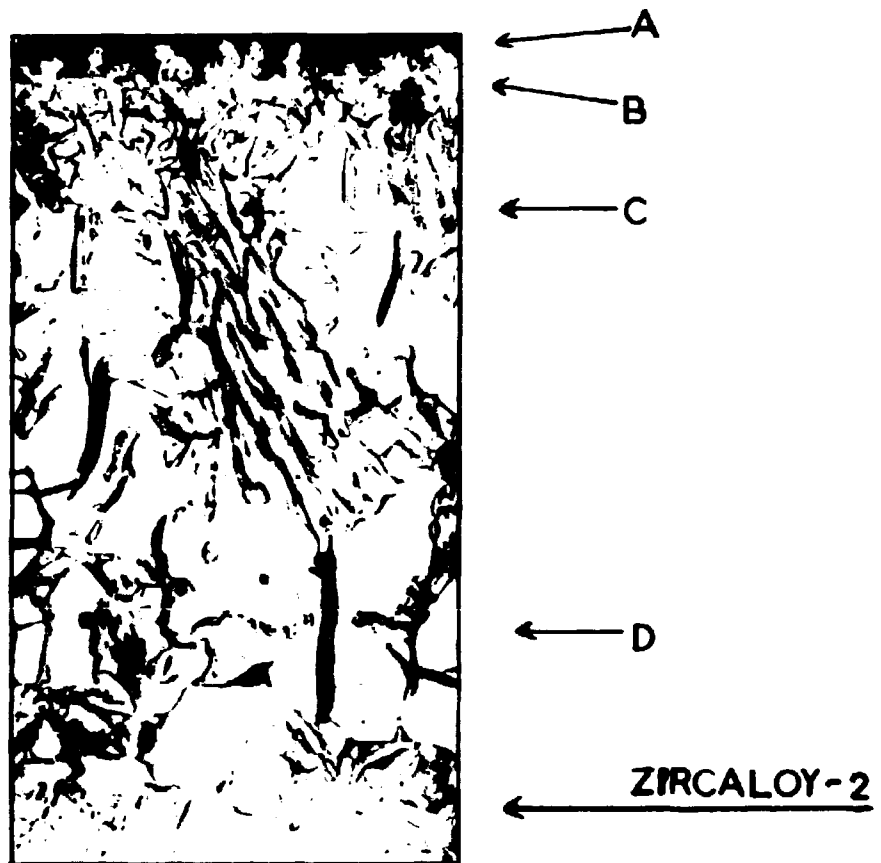
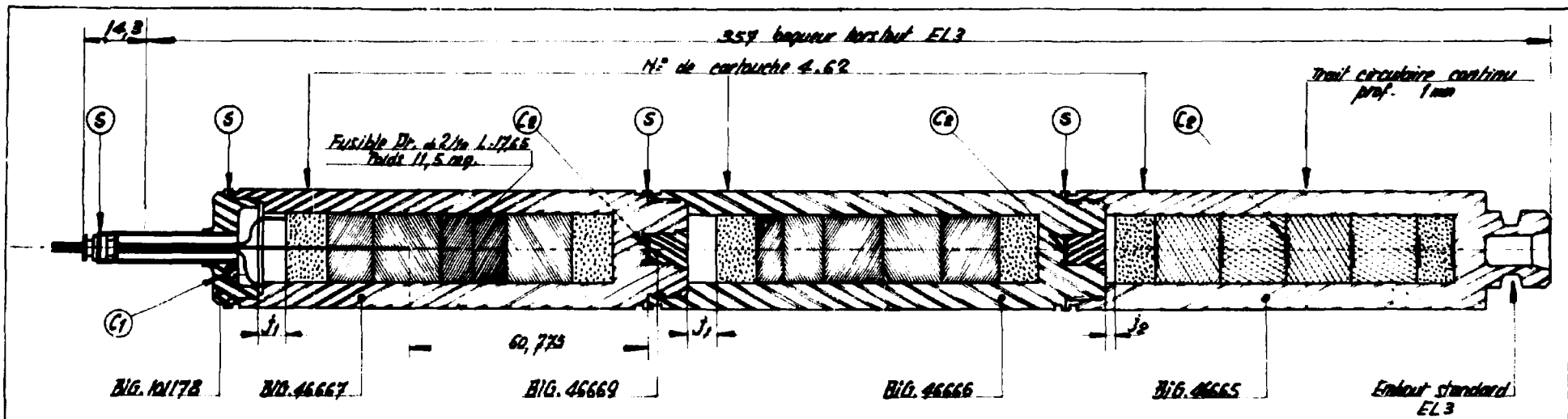


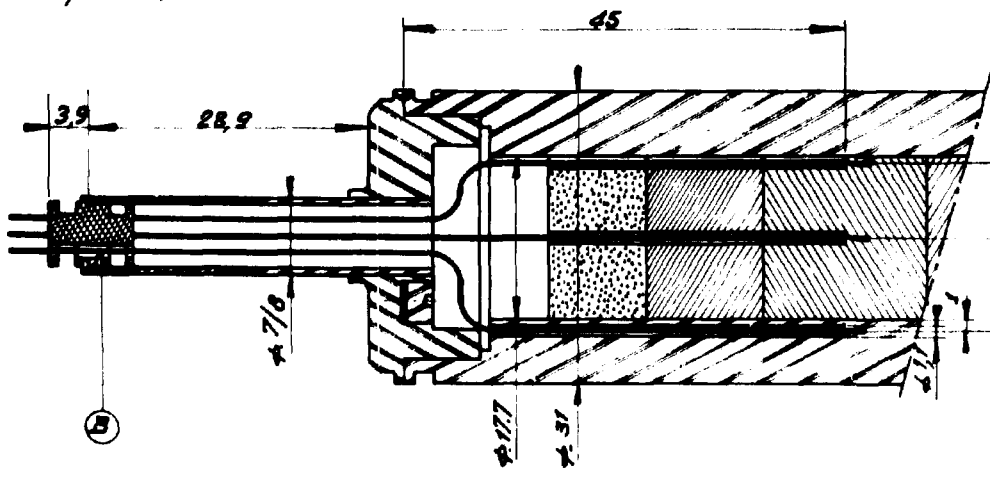
Fig. 18.

MICROGRAPHIE .x 650



- Ⓛ. Brasure "Nicrobrasil" SO. Surf. du couple brasé h: 3,5 { $\phi 10/10$. S: 11mm² / $\phi 15/10$. S: 16,5mm² }
- Ⓢ. Soudure par bombardement électronique
- Ⓝ. Jeu longitudinal 7,2 mm
- Ⓛ. Jeu longitudinal 2mm
- ①. Couple Chromel-Alumel. Inox $\phi 10/10$ T. I. S. $\phi 5/10$
- ②. Couple Chromel-Alumel. Inox $\phi 10/10$ T. I.
- ③. Couple Pt/Pt-Rh. Inconel $\phi 15/10$ T. I.

- Et. montage $\phi 4$ ep. 1/10 } Cobalt 1
- Et. montage $\phi 8$ ep. 1/10 }
- Pastilles $\phi 17,65$ h: 16,75 - Inox.
- B/D. 46341 } Pastilles $\phi 17,65$ h: 10 - Al₂O₃
- B/D. 46670 }
- B/D. 46342 } Hauteur empiement 6,8
- B/D. 46671 } $\phi 17,65$
- B/D. 46672 } enrichissement 16%
- Zr



Nombre de Pièces _____ Tolérances générales: ±01 sauf indications spéciales

① MATIÈRE _____ TRAITEMENT _____	USINAGE. _____ PROTECTION _____ TOLÉRANCES _____
ELEMENT COMBUSTIBLE FRACTIONNÉ AVEC THERMO-COUPLES POUR ESSAI DANS EL3	
COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE	
ÉCHELLE: 1/4 2/1 DATE: 14.5.62	Dessiné par: <i>Nibna</i> Vérifié par: _____
FIG. 101177	

Fig. 19

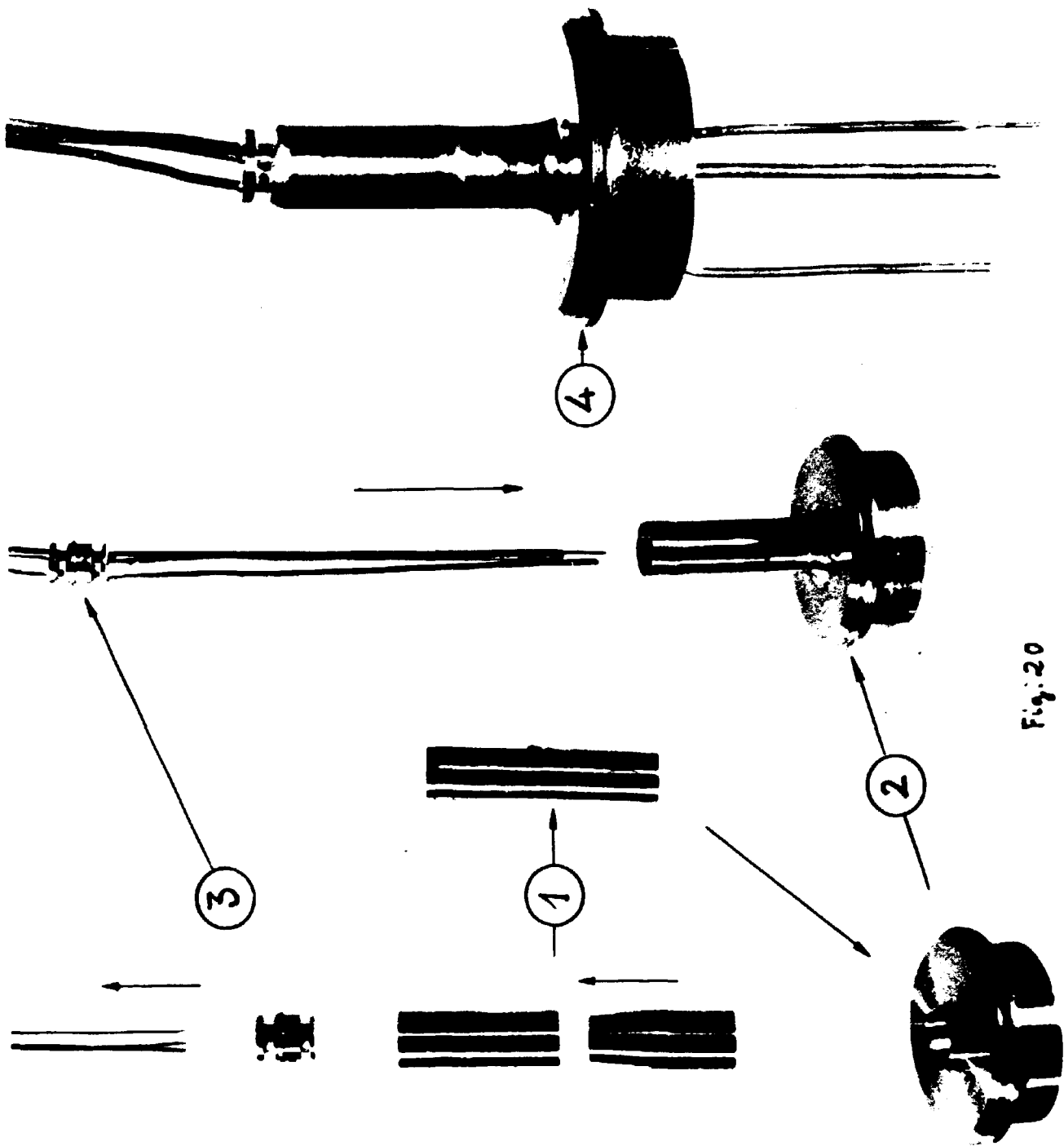


Fig. 20

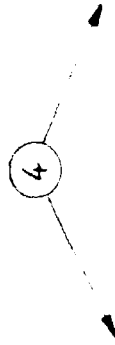
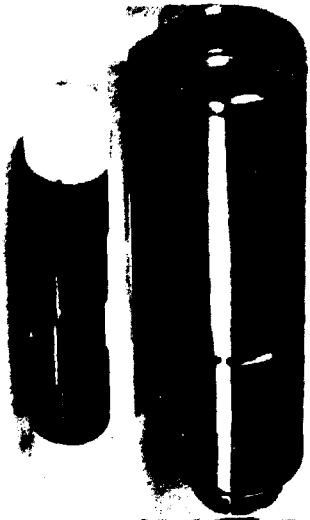
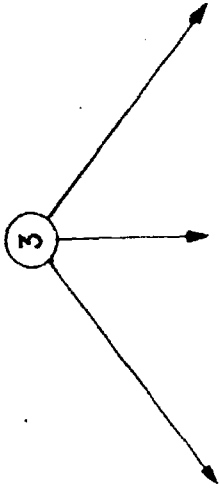
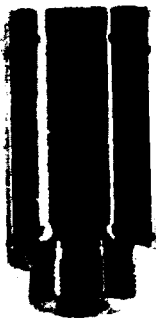


Fig. 27

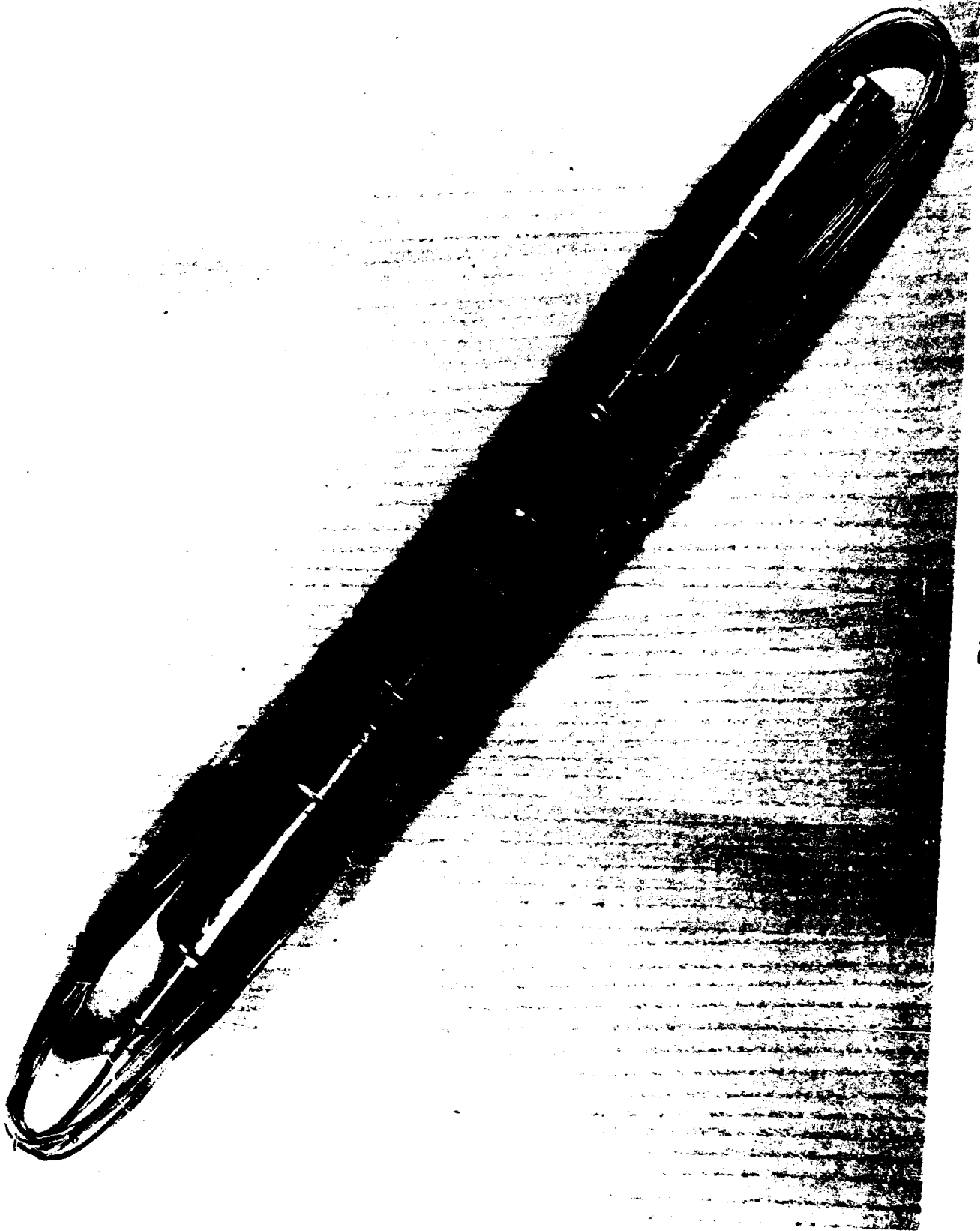


Fig. 22

FIN