

MEMOIRE

CN0101073

Réalisé à

*L'ATELIER DE VERRE"

de St-Haur-des-Fossés

LE TRAVAIL DU VERRE DANS LES LABORATOIRES

Par

M. THIAM

RAPPORT DE STAGE
SUR LE SOUFFLAGE DU VERRE AU CHALUMEAU

effectué en France à l'Association " L'Atelier de Verre " 78, rue du Docteur Roux à Saint-Maur-des-Fossés, par l'intermédiaire du Département de Mesures Physiques de l'U.T. de Créteil, du 1er Octobre 1984 au 31 Mars 1985.

Par Monsieur Modou THIAM, Technicien au Laboratoire Central d'Analyses de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.

SOMMAIRE

Avant propos	4
Introduction	6
Historique	7
Le Verre	9
Le Pyrex	.. 18
Généralités sur le travail du verre	20
Equipement de travail	. 28
Organisation pratique du stage	. 40
Programme	.. 41
Réalisations	. 59
Conclusion	.. 90
Diffusion	.. 91

AVANT-PROPOS

Ce stage de six mois au Département de Mesures Physiques de l'I.U.T. de Créteil et à l'Association "l'Atelier de Verre" de Saint-Maur-des-Fossés, nous a permis, à partir de l'initiation dont nous avons déjà bénéficié, d'apprendre à mieux connaître le verre [Pyrex et ordinaire], et les techniques de soufflage du verre au chalumeau.

Aussi, nous tenons à remercier très chaleureusement tous ceux qui, de près ou de loin, ont oeuvré pour qu'il ait lieu et se déroule dans les conditions souhaitées.

Parmi ceux-ci nous citerons :

AU SENEGAL :

MM. Le Ministre de la Recherche Scientifique et Technique.

Le Ministre de l'Enseignement Supérieur.

Le Directeur de l'I.S.R.A.

Le Chef du Département Appui aux services de recherches de l'I.S.R.A.

Le Directeur du C. N.R.A. de Bambey.

La Chef du Laboratoire d'Analyses du Y. N. R.A. de Bambey,
Chef de la Division des Laboratoires Centraux.

Le Personnel SR/Solab - C.N.A.A. de Bambey.

EN FRANCE :

MM. Le Chef du service de Gestion des Etudiants Sénégalais à
l'Etranger.

Chappey, Directeur de l'I.U.T. de Créteil.

MM. Bulvestre, Chef du Département de Mesures Physiques de
l'I.U.T. de Créteil.

Degremond, Chef du Service Administratif de la formation
continue de l'I.U.T. de Créteil.

Philippeau, Professeur de Travail du Verra au lycée
D'Arsonval à Saint-Maur-des-Fossés, et Président de
l'Association "L'Atelier de Verre:" de Saint-Maur-des-
Fossés, qui fut notre Maître de stage.

Et à travers les uns et les autres, les personnels de leurs
services compétents respectifs.

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

M. THIAM

INTRODUCTION

L' I.S.R.A. est doté depuis 1981 d'un service " Maintenance des appareils de laboratoire " qui, jusqu'à maintenant, s'est occupé de l'entretien du matériel ainsi que de la **confection** de pièces ou articles en aluiglas utiles à nos expériences.

Ce service a cependant d'autres vocations parmi lesquelles la micro-mécanique, l'électronique, l'atelier de soufflage du verre au chalumeau, etc.. .

Devant les demandes sans cesse croissantes de réparation et de confection d'appareils en verre, le projet " Atelier Verrerie " est passé à l'état d'urgence. Sa mise en place rapide et le recrutement du personnel nécessaire s'imposent, devant les coûts exorbitants des travaux facturés par les entreprises extérieures, et surtout devant l'**absence** de dialogue entre **utilisateurs** et fabricants, lors de la mise au point de pièces en verre bien adaptées à nos besoins.

Etant donné les difficultés budgétaires qui interdisent le recrutement d'un **personnel** très qualifié pour ce type de travail, cette **formation d'un technicien** arrive au moment opportun.

HISTORIQUE

L'invention du Verre est très ancienne. Comme tant d'autres elle est probablement due au hasard.

PLINE l'Ancien raconte que des marchands qui, par suite d'un naufrage, furent jetés à l'embouchure du fleuve Belus en Syrie, durent se servir de la plante kali [plante à feuille épineuse de la famille des salsolacées] pour cuire leurs aliments, et ainsi la cendre produisit de la soude qui, mélangée au sable, aurait donné naissance au Verre,

D'autres conteurs attribuent cette découverte à des marchands de natron [carbonate de soude] qui, en posant leur marmite sur des blocs de natron pour faire cuire leurs aliments auraient provoqué sous l'action du feu, la formation par combinaison avec le sable de plage, d'une substance dure et transparente: le Verre,

Ces histoires, pour aussi pittoresques qu'elles soient, ne doivent pas être prises au sérieux, car la fabrication du Verre nécessite une température de 1.300° qui ne peut pas être atteinte avec les feux de cuisson décrits dans ces légendes.

S'il est impossible de dater avec certitude l'apparition du Verre, -certains parlent de 3.500 ans avant Jésus-Christ.-, il est par contre permis de penser que la fabrication du Verre se développa au cours des siècles, à partir de la connaissance des glaçures qu'avaient les potiers, bien avant l'apparition du Verre.

Au premier siècle avant Jésus-Christ l'invention de la canna de souffleur permit une révolution de la fabrication du Verre, qui peut se comparer à celle qui bouleversa le monde de la céramique avec l'apparition du tour de potier,

L'art du Verre fut propagé dans tous les pays méditerranéens par les marchands phéniciens, mais son importance fut considérable lors de l'extension de l'Empire Romain.

Dès le début du III^{ème} siècle, Rome était devenue le centre d'une importante industrie du Verre.

A la chute de l'Empire Romain apparut un style spécifique islamique dont l'apogée se situe entre 1.2013 et 1.300.

Au XIII^{ème} siècle et au cours des quatre siècles qui suivirent, de nombreux ateliers se constituent à Venise, - plus exactement dans l'île de Murano -, La décadence commença vers les années 1.600-1.700.

Les verriers laissés dans la misère se firent soudoyer par des émissaires étrangers. S'établirent alors en Europe des Verreries Vénitiennes.

En 1.665, Colbert fit venir des verriers de Murano. La manufacture royale de Saint-Gobain fut créée, La France réalisa ainsi ses propres glaces par le procédé de Venise.

Mais en fait il faut attendre la fin du XIX^{ème} siècle et le début de notre siècle pour que le Verre acquiert en France, grâce à la fabrication mécanique, un développement important,

LE VERRE

I - DEFINITION DU VERRE -

Au cours de la fabrication du Verre, on réalise un mélange de divers constituants : silice, soude, chaux etc..... Lorsqu'on refroidit cette solution, sa viscosité s'élève jusqu'à donner un matériau solide, mais sans cristallisation. Alors que le réseau des corps cristallisés est parfaitement ordonné, la structure vitreuse, d'après un spécialiste, "présente un réseau irrégulier, non répétitif, asymétrique, parfaitement compatible avec la théorie selon laquelle le Verre est un liquide dont les configurations atomiques, propres à certaines températures élevées, sont devenues fixes par suite de la grande viscosité du Verre à la température ordinaire" .

Ainsi, le Verre est un liquide qui, en se refroidissant depuis la température à laquelle il est un liquide vrai, ne cristallise pas à cause de sa grande viscosité : celle-ci est telle qu'il devient rigide et que, pour plus de commodité on le considère comme un solide.

II - CONSTITUANTS DU VERRE -

Le Verre est composé de silice et d'oxydes divers, Au début du siècle, les compositions étaient peu nombreuses et relativement simples :

- Verre blanc:, mélange de silice, soude et chaux.
- Verre de Bohême, mélange de silice, potasse- et chaux.
- Cristal, mélange de silice, d'oxyde de plomb et de potasse.

Les chercheurs ont mis au point plusieurs milliers de Verres, en faisant varier les proportions des différents constituants et en y ajoutant d'autres constituants.

Le tableau ci-après donne la composition approximative de quelques grandes classes de Verres,

Désignation	%								
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	BaO	PbO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
1 Verre de silice (silice fondue)	99,5+								
2 Verre à 96 % de silice	96,3	< 0,2	0,2					2,9	0,4
3 Verre sodocalcique (verre à vitre)	73	12-15		8-10	1,5-3,5				0,5-1,5
4 Verre sodocalcique (verre plat)	73	12-14		0-12	1-4				0,5-1,5
5 Verre sodocalcique (ampoules)	73,6	16	0,6	5,2	3,6				1
6 Verre au plomb (faible teneur)	63	7,6	6	0,3	0,2		21	0,2	0,6
7 Verre au plomb (haute teneur)	35		7,2				58		
8 Borosilicate (faible coeff. dilatation)	80,5	3,8	0,4				LiO ₂	12,9	2,2
9 Borosilicate (faibles pertes électriques)	70,0		0,5				1,2	28,0	1,1
10 Borosilicate (soudable au Kovar)	68,9	2,8	4,4				0,2	21,4	2,3
11 Borosilicate (soudable au tungstène)	67,3	4,6	1,0		0,2			24,6	1,7
2 Aluminosilicate	57	1,0		5,5	12,0			4,0	20,5

III - PRINCIPAUX TYPES DE VERRES :

1 - Verres sodocalciques :

Ce sont les plus courants, faciles à fondre, ils sont d'un coût de revient relativement faible, ,

Utilisations : fabrication des lampes, des bouteilles, et des vitres,

2 - Verres de silice :

Obtenus par fusion de quartz ou de sable très pur, sans addition de fondant. Ces Verres possèdent un coefficient de dilatation très faible. Ils sont difficiles à travailler, car ils possèdent un point de ramollissement élevé [1730°C], mais ils présentent une très bonne transparence dans l'ultraviolet.

3 - Verres à 96% de silice :

Les objets sont fabriqués en borosilicates (65% de silice), puis ils subissent :

- Un traitement thermique qui crée deux phases.
- Un traitement aux acides minéraux pour éliminer la phase soluble. Il en résulte une carcasse poreuse,
- Un nouveau traitement thermique de la carcasse poreuse pour qu'elle reprenne son état vitreux.

Ces Verres possèdent une très grande résistance thermique, un coefficient de dilatation très faible et une bonne transparence dans l'ultraviolet.

4 - Verres au plomb :

On peut remplacer la chaux dans un Verre sodocalcique par de l'oxyde de plomb; on obtient un nouveau type de Verre appelé cristal. La teneur en oxyde de plomb peut dépasser 80%.

5 - Borosilicates :

Composés essentiellement de silice et d'anhydride borique, ces Verres sont caractérisés par un faible coefficient de dilatation, une bonne résistance thermique et chimique. Le plus répandu de ces Verres est commercialisé sous la marque "PYREX". C'est celui que travailla le souffleur de Verre. Nous verrons plus loin ses caractéristiques.

6 - Aluminosilicates :

Ces Verres sont composés d'au moins 20% d'alumine, très peu d'alcalis, un peu d'anhydride borique qui sert de fondant. Ils sont caractérisés par des points de ramolissement élevés et de faibles coefficients de dilatation.

7 - Verres spéciaux :

a3 - Verres colorés :

La coloration dépend:

- de sa base : Verre sodocalcique, Verre borosilicate, Verre au plomb.
- de l'atmosphère du four : oxydante, réductrice.
- de la température du four,
- de la nature et des proportions d'oxydes métalliques inclus.

Le tableau ci-dessous donne les oxydes métalliques en fonction des couleurs désirées.

Fer	Vert bleu à vert jaune.
Manganèse	Violet

Chrôme	Verre [plutôt jaunâtre]
Vanadium	Vert
Cuivre	Bleu, vert
Cobalt	Bleu, violet
Uranium	Jaune
Soufre	Jaune ambré
Sélénium	Rose
Or	Rubis à l'or
Argent	Jaune

b) - Verres photosensibles :

Verres sensibles aux U.V.

c) - Verres conducteurs :

Verres classiques borosilicatés, revêtus d'oxydes métalliques conducteurs.

d) - Verres "multiform" :

Fabriqués à partir de poudre de Verre.

e) - Verres photochromiques :

Ils ont la propriété de s'obscurcir ou de s'éclaircir en fonction des U.V.

f) - Verres opales :

Verres borosilicates pour la verrerie de décoration et de table.

g) - Verres cellulaires :

Matériau d'isolation [Fibres de Verres].

h) - Verres de lunetterie et d'optique :

Verres sodocalciques, Verres au plomb ou borosilicates.

Ils comprennent plus de cent Verres courants si l'on considère seulement les domaines de : verrerie solaire, médicale, scientifique.

il - Verres trempés :

Ce sont des Verres dont la température est portée aux environs de la température de ramollissement, puis refroidis brusquement par bain d'huile, par jet d'air ou de sels.

Utilisation : parebrise de voitures.

IV - PROPRIETES PHYSIQUES :

1 - Masse volumique :

Exprimée en grammes par centimètre cube, elle peut valoir de 2,13 pour certains borosilicates à faibles pertes électriques, à plus de 6 pour certains Verres au plomb.

2 - Elasticité :

Les propriétés élastiques des Verres sont caractérisées par :

- le module d'élasticité ou module de Young, exprimé en hectobar.
- le coefficient de contraction ou coefficient de Poisson.

3 - Dureté :

Dans l'industrie, un Verre dur est un Verre ayant un faible coefficient de dilatation, il se ramollit à une température élevée.

Un Verre tendre a un coefficient de dilatation élevé, il se ramollit à une température relativement basse.

4 - Coefficient de frottement :

Il exprime la difficulté de faire glisser deux surfaces l'une sur l'autre : il vaut 1 dans le cas d'adhérence totale.

Lorsque deux surfaces de Verre sont nettoyées chimiquement de façon à **éliminer tout** agent de pollution, leur coefficient de frottement peut atteindre l'unité.

5 - Résistance à la compression :

Elle est mesurée par la pression nécessaire pour pulvériser un cube de 1mm de côté. Sa valeur pour les Verres, **se situe** à environ 3.000 ou 4.000 bar.

6 - Résistance à la traction :

La limite de **rupture** à la traction est la charge maximum produisant la rupture au cours d'un essai de traction, cette charge étant rapportée à la section de 1 *éprouvette.

Sa valeur est une vingtaine **de** fois inférieure à celle de la résistance à la compression.

7 - Résistance mécanique :

Le Verre, qui résiste bien à la compression, peut se rompre sous l'action de tractions relativement faibles, On peut dire que la casse d'un Verre est presque toujours due à des forces de traction.

8 - Coefficient de dilatation :

La dilatation linéaire est exprimée par un coefficient mesurant l'allongement par unité de longueur, pour une variation de 1° C.

Dans la zone de températures de 20° C à 300° C, la dila-

tation des Verres est très sensiblement linéaire, elle augmente dans la zone de transformation. Les Verras ont des coefficients de dilatation compris entre 5 et $125 \cdot 10^{-7}$. Les coefficients les plus faibles correspondent aux Verres à haute teneur en silice.

9 - Conductibilité thermique :

C'est la quantité de chaleur qui passe en une seconde à travers un corps d'un centimètre carré de surface, et d'un centimètre d'épaisseur.

Les Verras sont mauvais conducteurs de la chaleur par rapport aux métaux. C'est la raison pour laquelle il est facile de les travailler au chalumeau sans risques de brûlures. La mauvaise conductibilité des Verres explique leur lenteur à trouver un équilibre thermique. La conductibilité des Verres augmente avec la température et, dans une faible mesure, avec la pression. Les borosilicates sont meilleurs conducteurs que la plupart des Verres, mais moins que la silice.

10 - Résistance aux chocs thermiques :

Les Verres résistent mieux à un brusque échauffement qu'à un brusque refroidissement; en effet, dans le premier cas, les couches externes sont mises en compression, dans le second, elles sont mises en extension. Ce phénomène s'explique par le fait que la résistance du Verre est moins bonne à la traction qu'à la compression.

V - PROPRIETES CHIMIQUES :

Les Verres sont généralement considérés comme des matériaux résistant bien aux différents agents chimiques.

Cependant, tous les Verres n'ont pas la même résistance aux

agents chimiques, il est donc indispensable de connaître leur comportement lors des différentes attaques possibles : à l'eau, alcaline, acide.

- L'eau est susceptible d'hydrolyser le Verre, les ions H_3O^+ prenant la place des ions Na^+ ou Ca^{2+} qui passent en solution aqueuse, Il se forme à la surface du Verre un gel de silice qui peut retenir les ions alcalins et placer le Verre dans les conditions de l'attaque alcaline.
- Les solutions alcalines peuvent dissoudre la silice elle-même, de sorte que l'attaque est plus rapide que celle de l'eau. L'acide fluorhydrique agit de la même façon.
- Les acides ordinaires dissolvent seulement les alcalins et alcalinoterreux, de sorte qu'ils ne peuvent attaquer le Verre en profondeur qu'après avoir diffusé à travers le réseau de silice.

LE PYREX

Le Verre 732.01 de SOVIREL est un borosilicate à faible coefficient de dilatation, caractérisé par une excellente résistance thermique et chimique.

Ses qualités en font le Verre le plus apprécié dans les laboratoires,

Ce Verre est commercialisé par SOVIREL sous la marque PYREX, On le trouve sous différentes formes :

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| - Contenants | - Composants pour souffleurs de Verre |
| - Appareillages | - Poudre de Verre |
| - Verre fritté | - Tubes et baguettes |
| - Verrerie volumétrique | - Verre plat. |

1 - COMPOSITION :

- Silice	80,00 %
- Anhydride borique	13,00 %
- Alumine	2,25 %
- Oxyde ferrique	0,05 %
- Soude	3,50 %
- Potasse	1,15 %

II - PROPRIETES PHYSIQUES :

- | | |
|---------------------------------|---|
| - Masse volumique | : 2,23 g/cm ³ |
| - Elasticité..... | : Module d'élasticité :
6.500 hectobar
Coefficient de Poisson :
0,22 |
| - Dureté , , | : déterminée par la méthode
du jet de sable : 3,1 |
| - Résistance à la compression : | 3,600 bar |
| - Résistance à la traction....: | 150 bar |

III - PROPRIETES THERMOPLASTIQUES :

Viscosité log η poises	Désignation	Température °C
14,5	température de contrainte	515
13,0	température de recuit	555
7,6	température de ramollissement	820
4,0	température de travail	1.260

Coefficient moyen de dilatation linéaire entre 20°C et 300°C =
 $32.10^{-7} / ^\circ\text{C}$

IV - PROPRIETES CHIMIQUES :

- Attaque de l'eau : on maintient la poudre de Verre de 300 à 420 microns dans de l'eau distillée à 100°C pendant 1 heure. On dose ensuite les alcalis passés en solution :
Perte de 0,009 mg de Na_2O /g de Verre ,
- Attaque alcaline : On maintient une plaque de Verre dans un mélange en proportions égales de solutions normales de Na OH et Na_2CO_3 à ébullition pendant 3 heures :
Perte de 140 mg/dm² .
- Attaque acide : On maintient une plaque de Verre dans une solution de H Cl à 20% à l'ébullition pendant 3 heures :
Perte de 0,10 mg/dm² .

GENERALITES SUR LE TRAVAIL DU VERRE

Les principaux paramètres physiques qui interviennent dans le travail du Verre, peuvent se résumer ainsi :

- Viscosité
- Tension superficielle
- Echauffement, refroidissement
- Vitesse d'exécution
- Poids

1 - VISCOSITE :

C'est la caractéristique la plus importante des Verres. Sa connaissance est indispensable à l'élaboration et à l'utilisation des Verres.

La **viscosité** peut être définie comme le frottement interne des liquides. Elle est mesurée en **poises**, le poise étant la viscosité dynamique d'un liquide opposant une résistance d'une dyne au glissement dans son plan d'une surface plane d'un centimètre carré, avec un gradient de vitesse d'un centimètre par seconde,

En unité S.I., la viscosité dynamique s'exprime en pascal seconde.

On désigne en général la viscosité par la lettre grecque η .

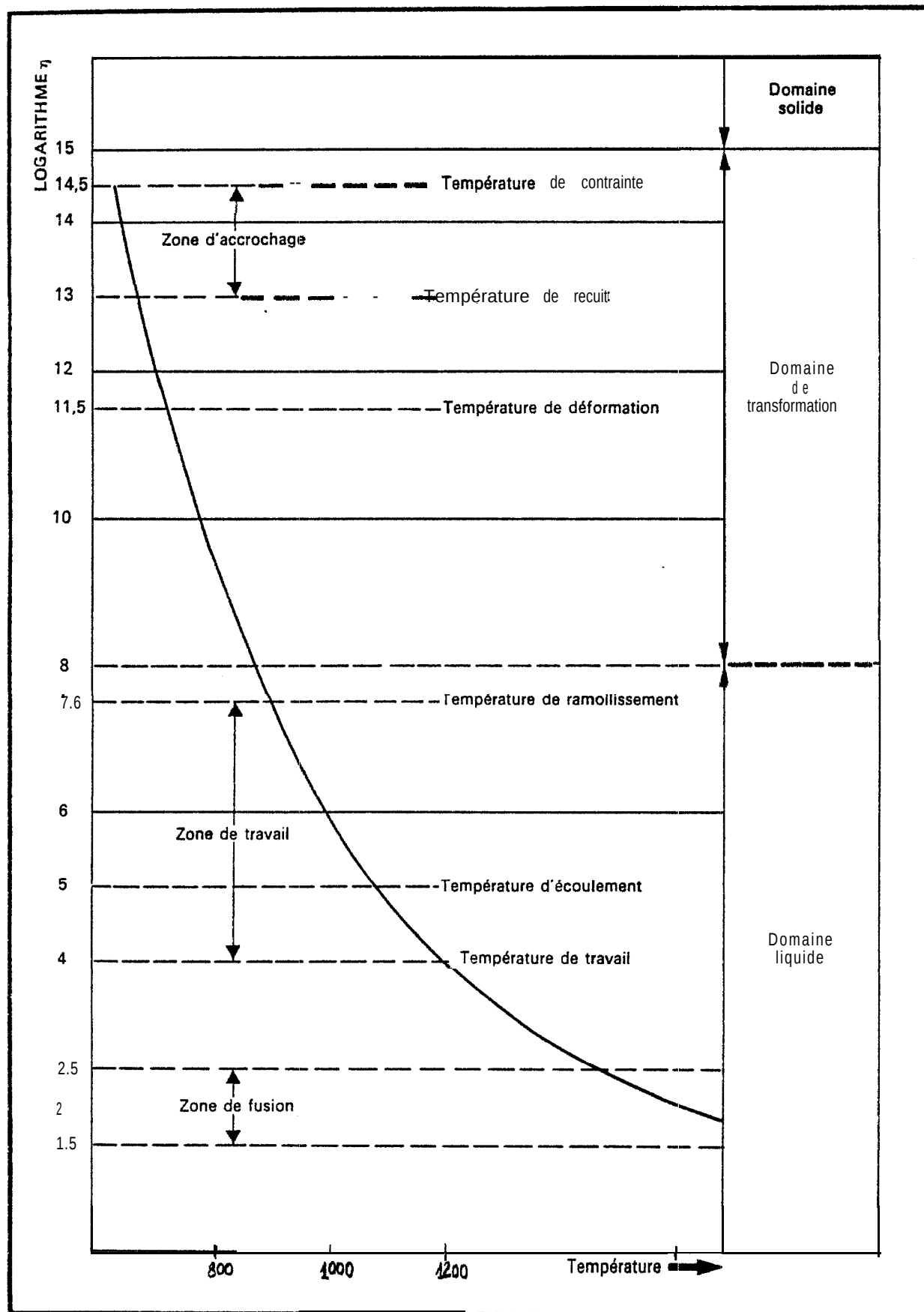
Un fluide parfait aurait donc une viscosité nulle.

Un solide parfait **aurait** donc une **viscosité** infinie,

Exemples :	Eau à 18°C	0,010 poise
	Glycérine à 20°C	10,000 poises
	Verre à 1.400°C	100,000 poises
	Verre à 1.300°C	..1000,000 poises

Le Verre traverse une très grande étendue de viscosités différentes. Le Verre n'a pas de point, de fusion, mais de larges limites de fusion.

$\log \eta$ en fonction de la température en $^{\circ}\text{C}$ pour le Pyrex



Certains points de viscosité sont remarquables :

- $\log \eta = 4$: Température de travail.

C'est la température aux environs de laquelle se fait habituellement le **formage** du Verre.

- $\log \eta = 5$: Température d'écoulement.

Elle est **déterminée** par la vitesse de fusion d'une fibre de 0,60mm environ et de longueur 80mm.

- $\log \eta = 7,6$: Température de ramollissement.

C'est la température à laquelle on peut courber les tubes au chalumeau. Elle est déterminée par un essai d'**allongement** de fibre sous son propre poids.

- $\log \eta = 11,5$: Température de déformation.

C'est la température à laquelle les pièces minces commencent à se déformer.

- $\log \eta = 13$: Température de recuit.

C'est la température à laquelle les tensions internes du Verre sont à peu près complètement relâchées au bout de 15 minutes.

- $\log \eta = 14,5$: Température de contrainte,

C'est la température à laquelle les tensions internes du Verre se relâchent au bout de 4 heures,

- $\log \eta = 8 \text{ à } 15$: Domaine de transformation.

Ce domaine correspond au passage du Verre de l'état solide à l'état liquide. Dans cette zone de températures, la plupart des propriétés physiques des Verres sont modifiées de façon appréciable.

- $\log \eta = 4 \text{ à } 7,6$: Zone de travail.

C'est la zone de viscosités à l'intérieur de laquelle il est possible de travailler le Verre. Si l'intervalle de température correspondant est important, les Verres ont un "palier de travail" long et sont plus faciles à travailler que des verres à "palier de travail" court.

- $\log \eta = 1,5 \text{ à } 2,5$: Zone de fusion.

C'est la zone où s'effectuent les opérations de fusion.

- $\log \eta = 13 \text{ à } 14,5$: Zone d'accrochage.

Les températures correspondant à cette zone sont importantes à connaître dans le cas de soudures verre-métal.

Nous avons parlé à la température de recuit ($\log \eta = 13,3$, de tensions internes :

Une élévation de température provoque une dilatation du Verre, un refroidissement provoque des contractions. Un désordre se crée, par l'agitation thermique, dans la structure moléculaire. Au refroidissement, des liaisons du réseau moléculaire vont se figer dans un état quelconque, créant un déséquilibre. Nous disons alors que le Verre a des tensions ou des contraintes pouvant provoquer des fêlures. Il faut donc recuire correctement la zone

travaillée afin d'éviter ces problèmes.

Ces **tensions** peuvent être mises en évidence dans la lumière polarisée d'un polariscope. [fig. 13.

Si nous avons voulu parler de la recuisson, c'est pour montrer l'**importance** que notre maître a portée sur cette phase du travail du Verre.

LA RECUISSE :

Elle se situe un peu après la température de contrainte, aux environs de **555° C** pour le Pyrex, Il faut distinguer la recuisson à la **main** de celle au four.

La recuisson manuelle doit être soignée : la zone travaillée d'une pièce sera chauffée dans une flamme douce afin de maintenir le Verre à une température où la viscosité est convenable pour permettre le relâchement des tensions mais sans déformation de la pièce.

Cette **recuisson** ne fait jamais disparaître complètement les tensions, mais on peut dire que, si elle est correctement effectuée, **alors** les tensions ne sont plus dangereuses,

Pour les pièces importantes on utilise un four de recuisson. Les pièces **sont** progressivement portées à la température de recuisson [environ **1h30** pour le Pyrex]. Le refroidissement s'effectue lentement [4 à 5 heures environ].

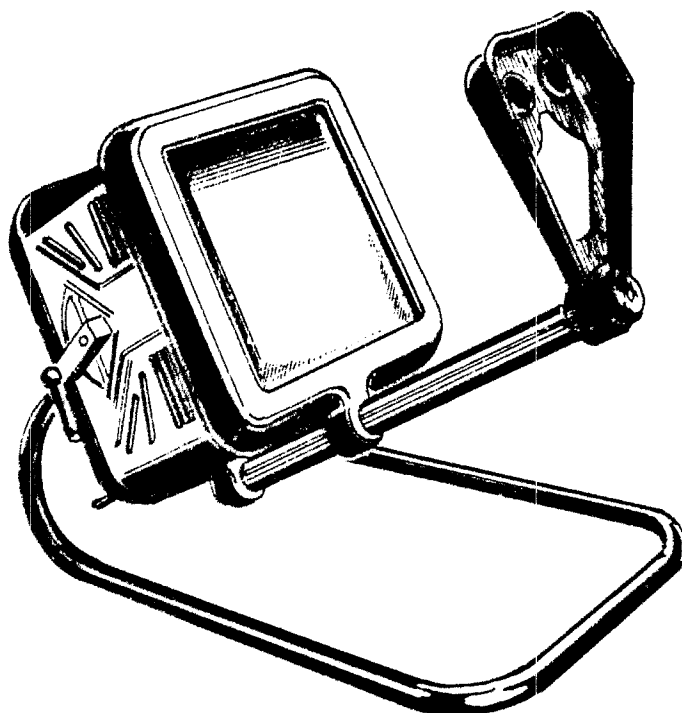
II - TENSION SUPERFICIELLE :

C'est une force par unité de longueur.

Elle est fonction de la viscosité du Verre.

Polariscope

Fig. 1



Cet instrument a été conçu spécialement pour les contrôles rapides dans les ateliers de fabrication ou dans les services de réception technique.

L'instrument est binoculaire, ce qui facilite beaucoup la localisation des contraintes. Il comporte deux analyseurs [polaroïds] protégés par des glaces. Une monture pivotante [non visible sur la figure 1] permet l'inter-position instantanée devant chaque analyseur d'une lame à teinte sensible,

III - ECHAUFFEMENT, REFROIDISSEMENT :

- **L'échauffement** est fonction de l'épaisseur et du volume de la pièce.

Une brusque élévation de température dilate les couches externes du Verre, alors que les couches **internes, encore** froides, ne sont pas influencées. Cette dilatation externe provoque une tension qui, si elle est violente, conduit à la rupture.

- Le refroidissement dépend de la surface extérieure et de la température de la pièce.

Lors du **refroidissement**, la couche externe du Verre se **rétracte**, sans que la couche interne soit influencée. Ce phénomène peut conduire à la cassure,

Les larmes bataviques ou larmes de Verre montrent les inconvénients, et les avantages d'un verre rapidement refroidi,

- Les larmes bataviques :

Lorsqu'une goutte de Verre fondu et légèrement surchauffé tombe dans de l'eau froide, elle prend la forme d'une **larme**. Si l'on brise l'extrémité de la queue de cette larme, la masse totale éclate avec un petit bruit et se réduit en une poussière très fine.

Une simple modification dans les **couches** externes du Verre a libéré les couches internes du réseau cristallin placées en extension, du fait du brusque refroidissement, et a provoqué l'éclatement.

On peut considérer la larme comme **formée** par la superposition de couches de Verre inégalement trempées et **dilatées**, soudées les unes aux autres.

IV - VITESSE D'EXECUTION :

Il est nécessaire de travailler le Verre hors de la flamme avec **rapidité** et sûreté, car le temps de travail est fonction de la **masse** et de la **viscosité** obtenue en chauffant.

V - LE POIDS :

Le Verre chauffé dans la zone de travail a tendance à couler par gravité; il faut donc tourner sa pièce sans arrêt, le Verre restant; symétrique autour de l'axe de rotation.

Le "maintien" du Verre a une **importance** extrême. Dans le travail du Verre, les deux mains sont utilisées : les mouvements de l'une ne sont pas les mouvements de l'autre.

L'apprentissage est donc ingrat au début.

Il nous a **fallu** ne pas céder au découragement, forcer nos mains à dominer la matière, dompter ce poids, cette viscosité. La satisfaction devant la relative réussite de nos créations fut une belle récompense.

EQUIPEMENT DE TRAVAIL

I - LE BANC DE TRAVAIL :

Un banc de travail commode aurait 180 cm de large et 80 cm de profondeur. Il serait couvert d'un matériau incombustible, **fibro** ciment ou mieux glasal. La hauteur peut varier selon la préférence du souffleur de Verre.

II - LES FLUIDES :

- Gaz combustibles : gaz de ville
gaz naturel
propane
butane
- Gaz comburants : oxygène [pour le Pyrex]
air comprimé

Les bouteilles d'oxygène peuvent être équipées d'un mano détendeur, ou mieux d'une centrale automatique (fig. 2).

III - OUTILLAGE :

- Le chalumeau :

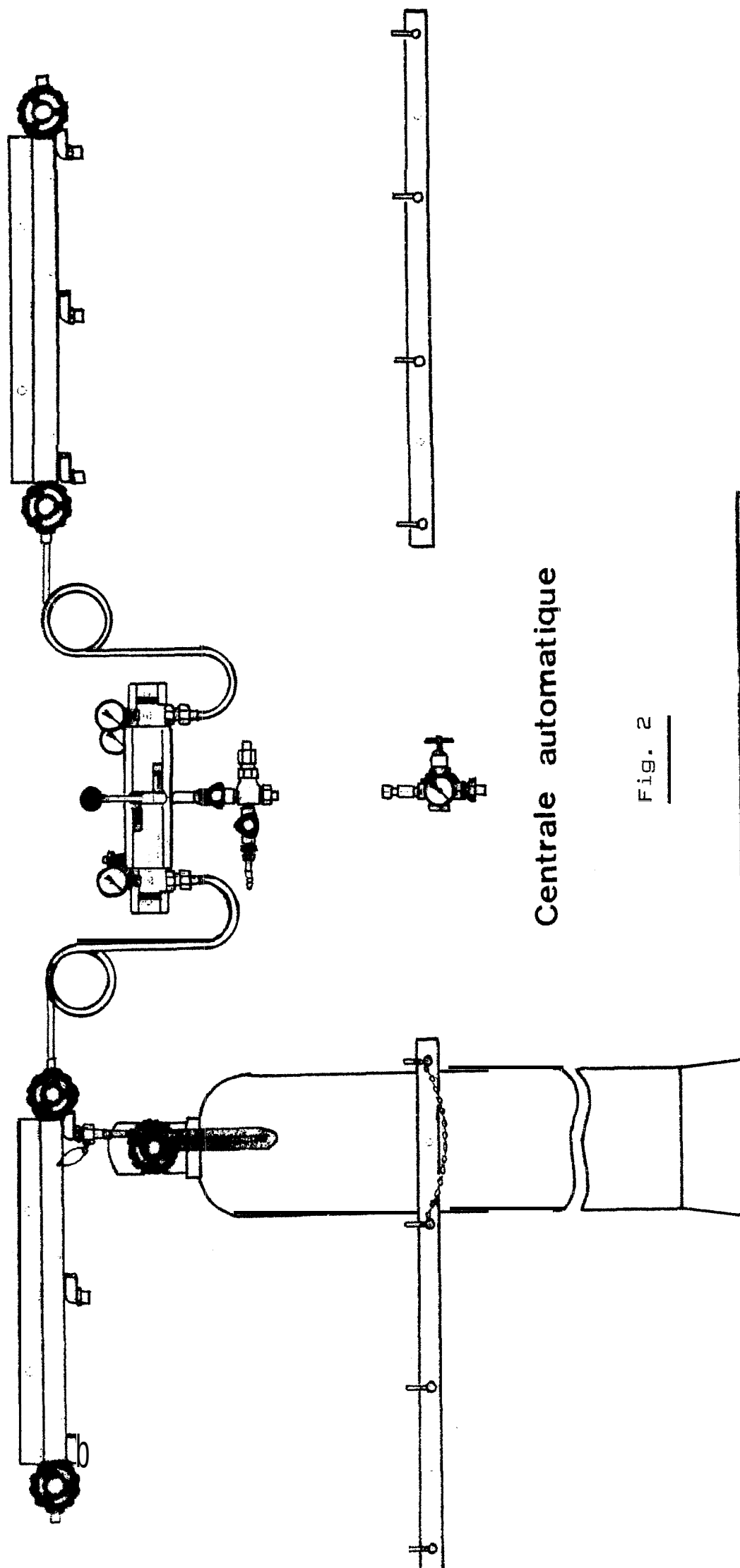
Le professionnel utilise un chalumeau à tête tournante [fig. 33. Il est essentiel que le chalumeau choisi soit compatible avec le type de gaz utilisé et qu'il soit d'un réglage facile, dans le but de produire toutes les variations d'une flamme intense à une flamme douce.

Pour le Pyrex on utilise un chalumeau fonctionnant avec de l'oxygène et du gaz.

- Les buses : [fig. 4 et 5]

Elles sont fonction de la flamme désirée.

La flamme se caractérise par sa forme et sa chaleur.

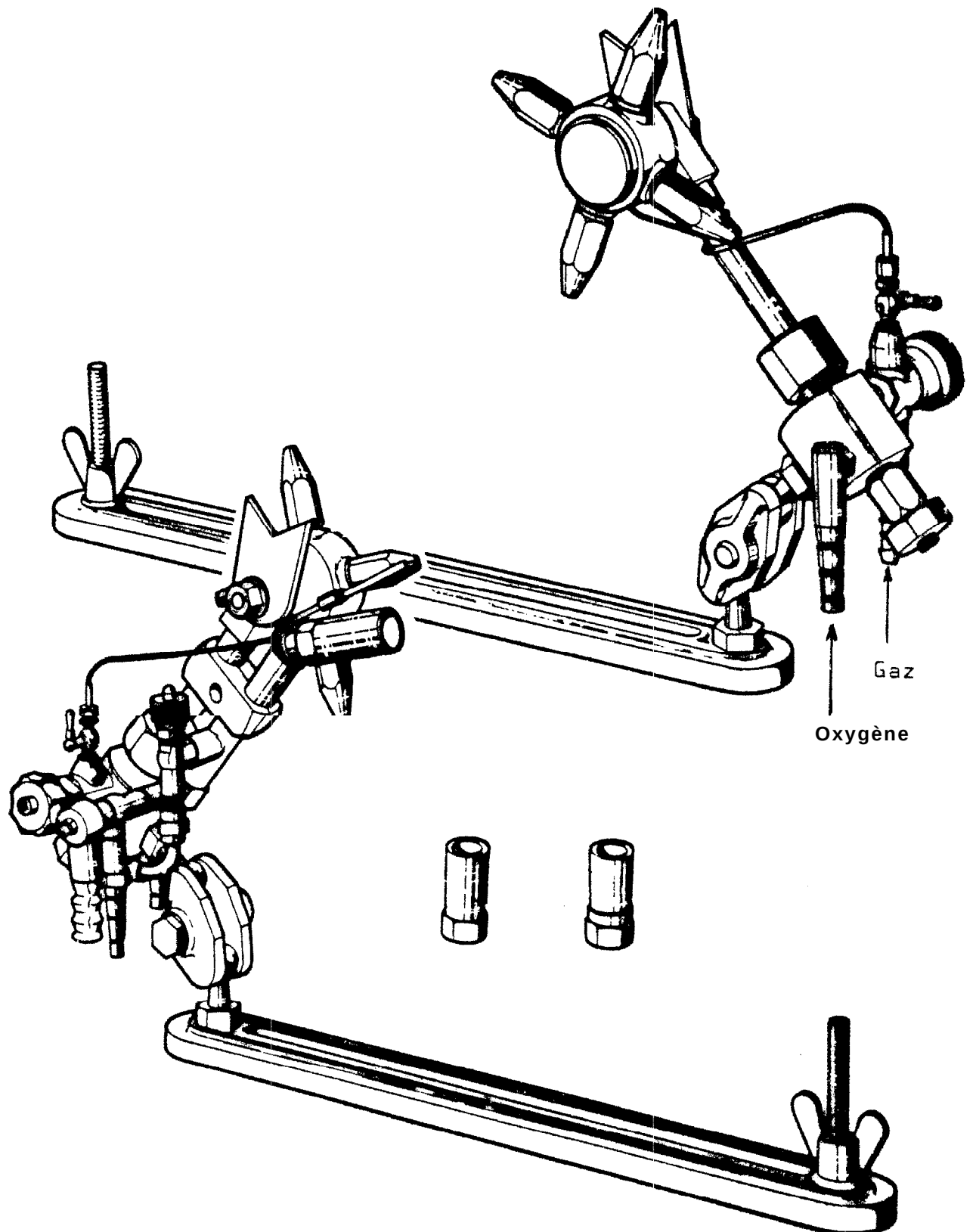


Centrale automatique

Fig. 2

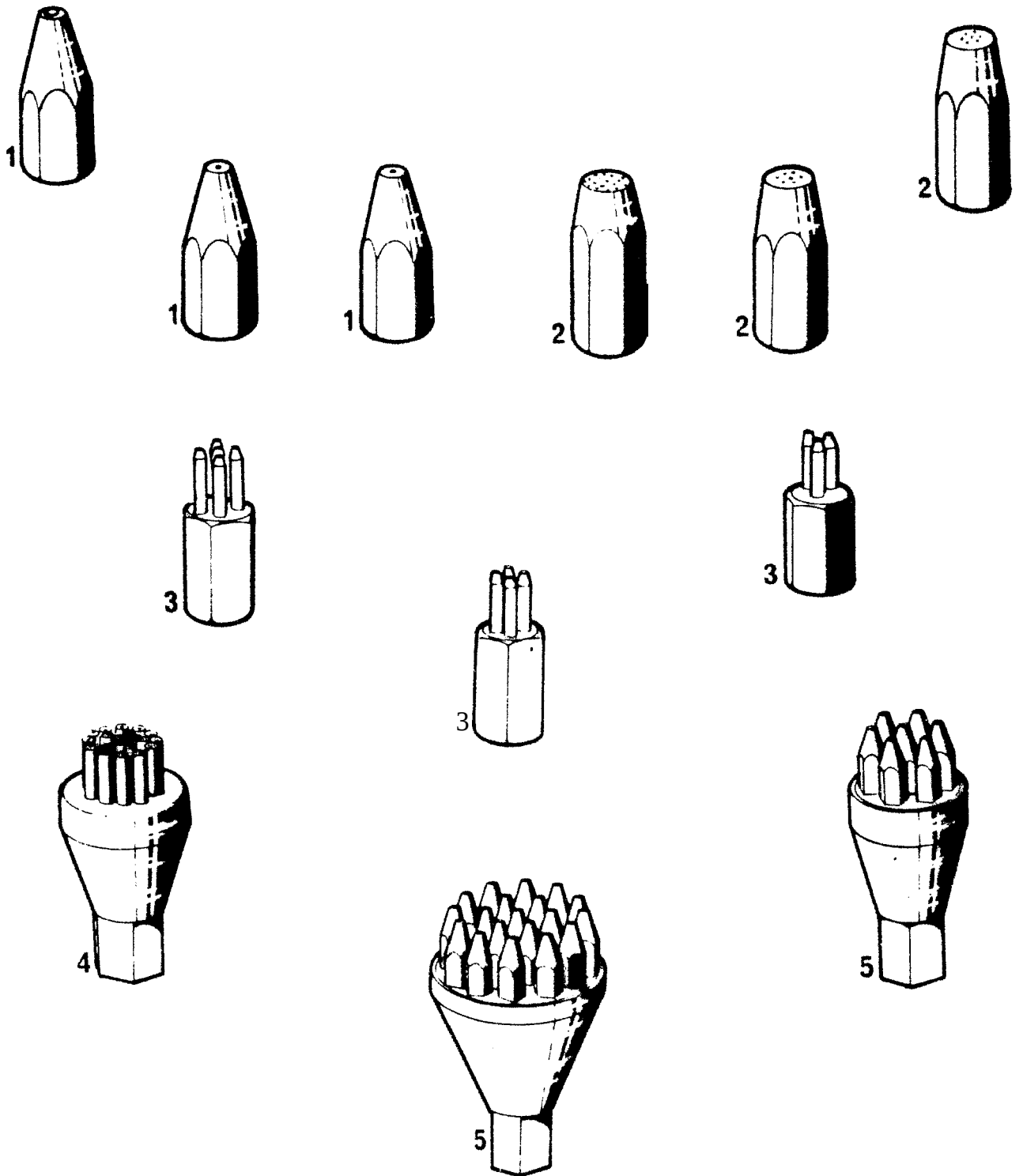
Chalumeaux

Fig. 3



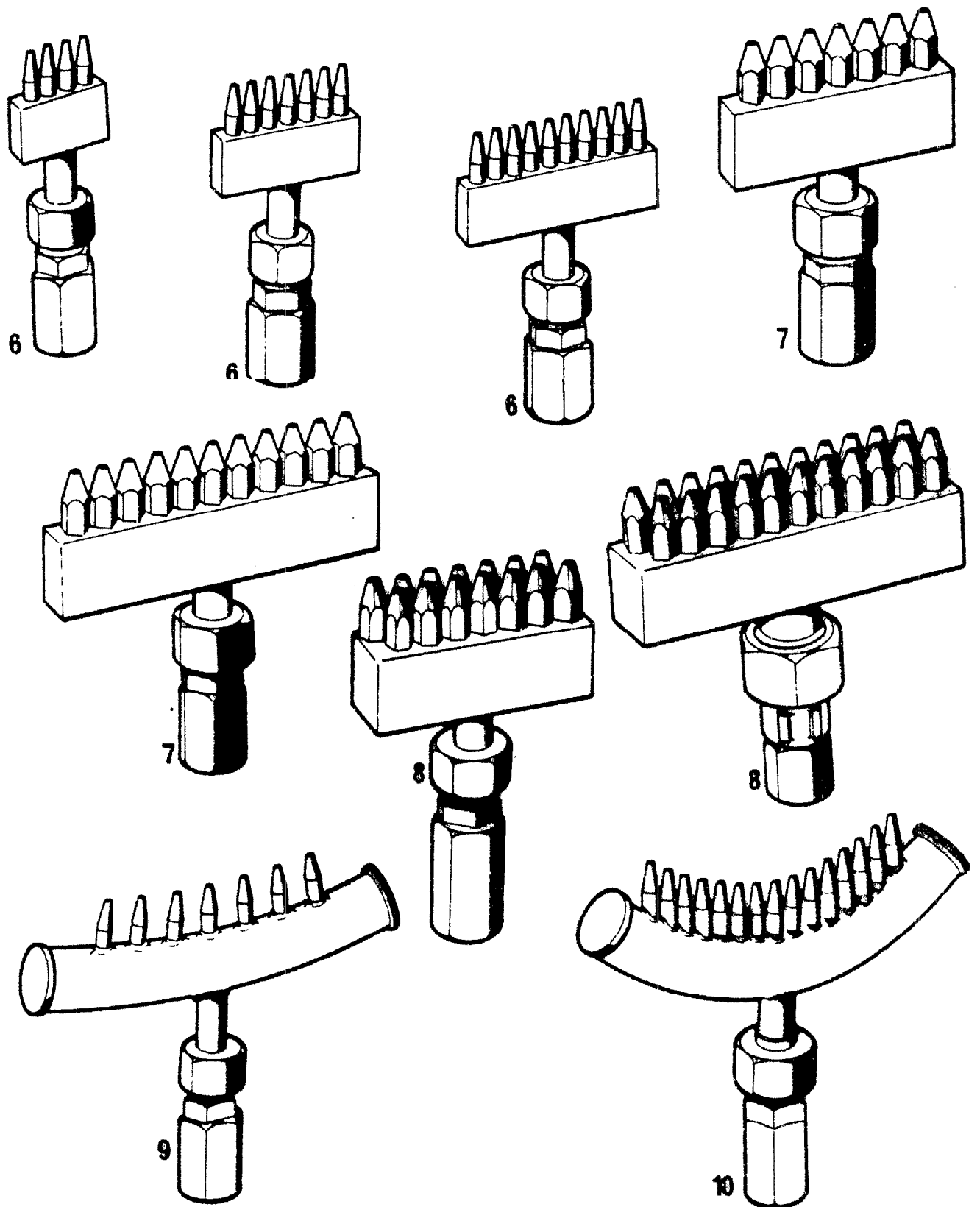
Buses

Fig. 4



Buses

Fig. 5



Elle doit comporter un petit cône bleu, le maximum de la chaleur se situe à la pointe du cône. Cenviron 3.000°C). Cette chaleur décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne et elle est fonction du gaz utilisé [fig.6].

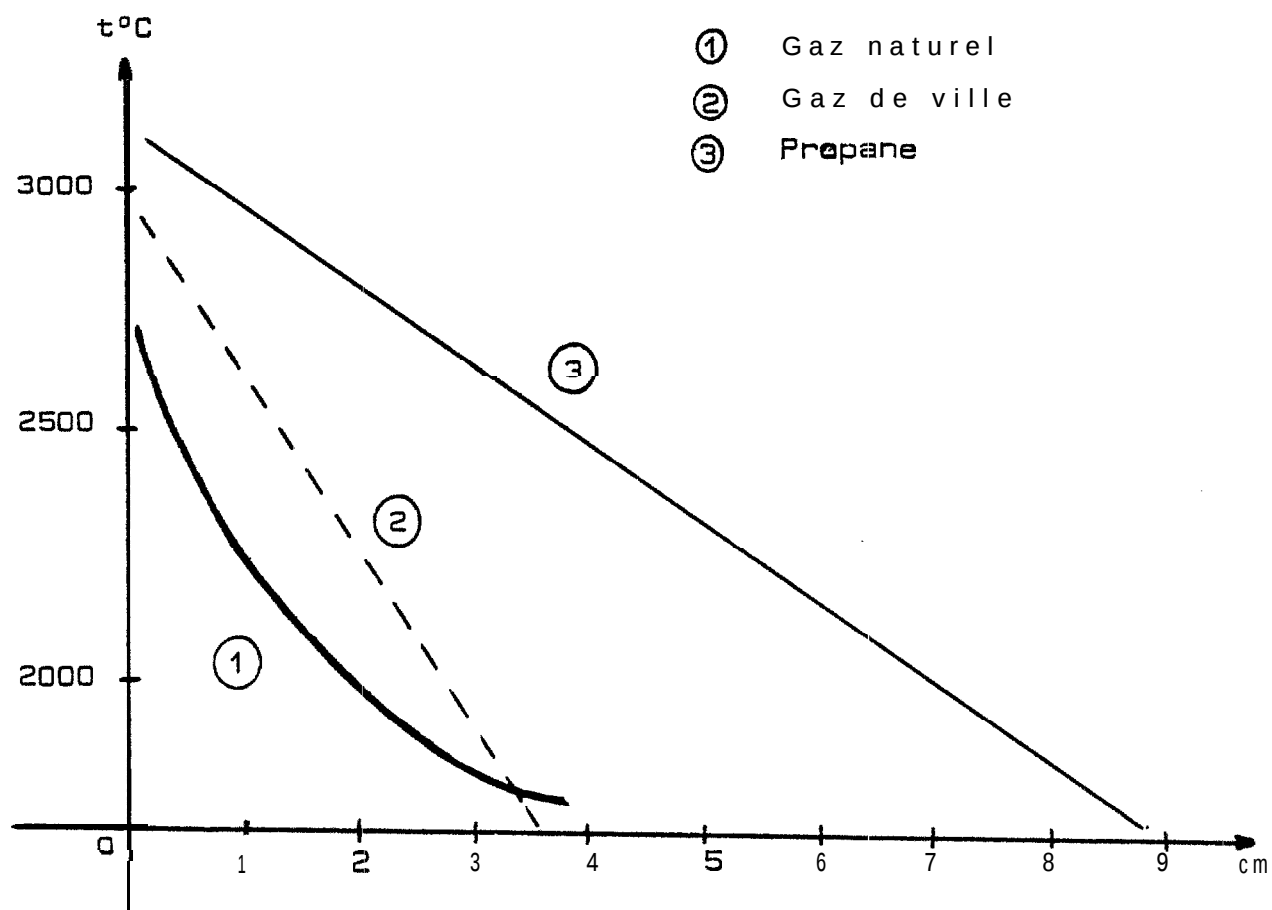


Fig. 6

Trois types de flammes :

- La flamme ordinaire : débit du gaz moyen
débit du comburant plus faible

La flamme, est large, assez longue,
bien enveloppante,

- La flamme dard : débit de gaz assez faible

La flamme est fine et pointue, elle
permet un chauffage précis.

- La flamme de recuit : le combustible brûle avec très peu
et de préchauffage : de comburant

La flamme est asymétrique avec des
traînées blanches,
Elle est utilisée pour le préchau-
ffage et la cuisson.

- Autres outils : [fig. 7 à 11 3

- Les lunettes : Verres teintés pour éliminer la
lumière jaune du sodium, tout en
absorbant le proche infra-rouge.

- Le couteau à Verre : en carbure de tungstène afin de
rayer profondément le Verre.

- Pince brucelle : permet d'éggréner le Verre.

- Charbon : pour aplatir le Verre, régulariser
un évasement.

- Pince à aplatir

- Poinçon à évaser

- Evasoir à main et sur socle

- Support à roulettes

- Perce-bouchons et affûteur

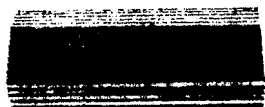
- Réglet

- Pied à coulisse

- Sec bunsen et un couronnement papillon

Accessoires pour verrier

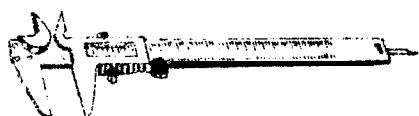
Fig. 7



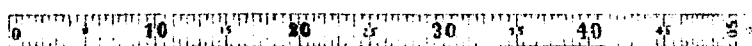
Couteau à Verre Rectangulaire



Genouillères Tournettes

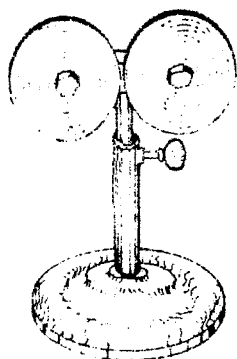


Pied à Coulisse

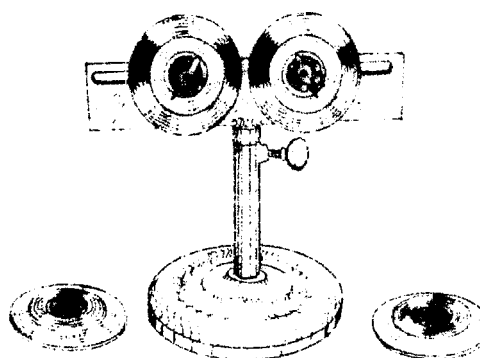


Réglet Acier Inox

Support à Roulettes

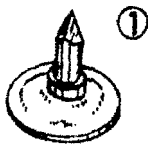


Support à Roulettes Réglable

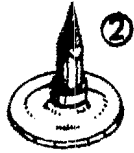


Accessoires pour verrier

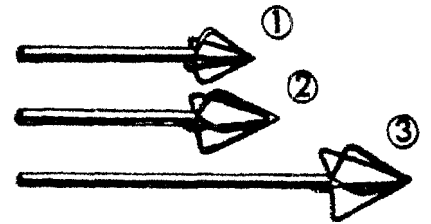
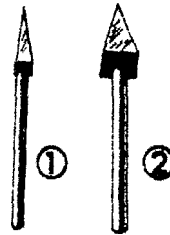
Fig. 8



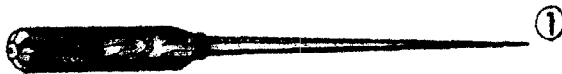
Evasoirs sur Socle



Evasoirs Sur Tige
à Main



Evasoirs Fil d'Acier
à Main



Poinçons à Evaser
n°1 long. 370 n°2 long. 270

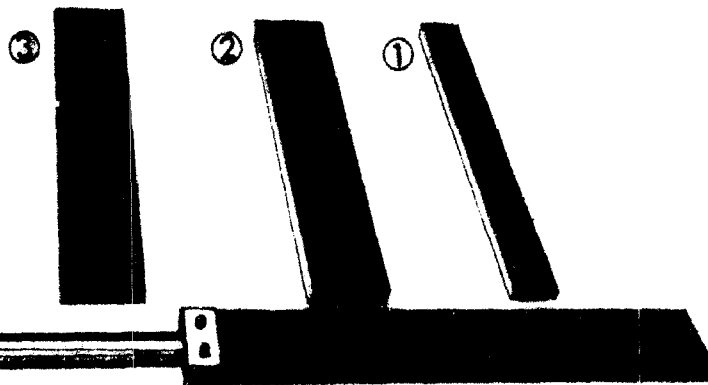


Pointes Vigreux
n°1 Pointue Conique
n°2 Plate



Evasoirs Charbon

Ø 4 6 8 10 12 14 16 18 20 25 30



Charbons Plats

Accessoires pour verrier

Fig. 9



Brucelle Ordinaire



Brucelle Renforcée



Brucelle Renforcée Isolée



Brucelle Isolée à Plaquettes



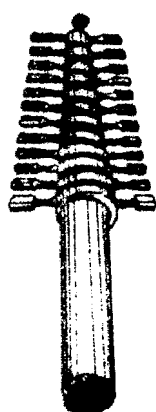
Pince à Aplatir



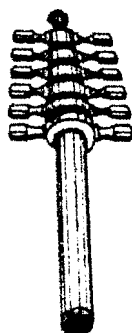
Lunettes Verres Teintés

Accessoires pour verrier

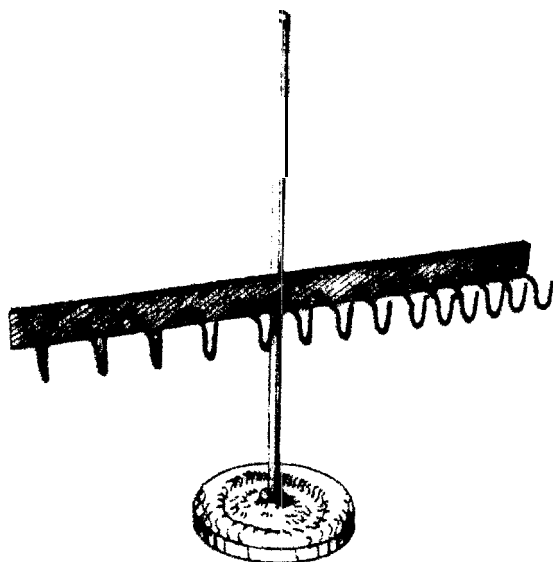
Fig. 10



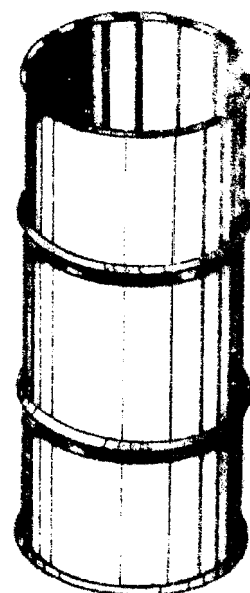
Perce Bouchons



Affuteur
de Perce - Bouchons

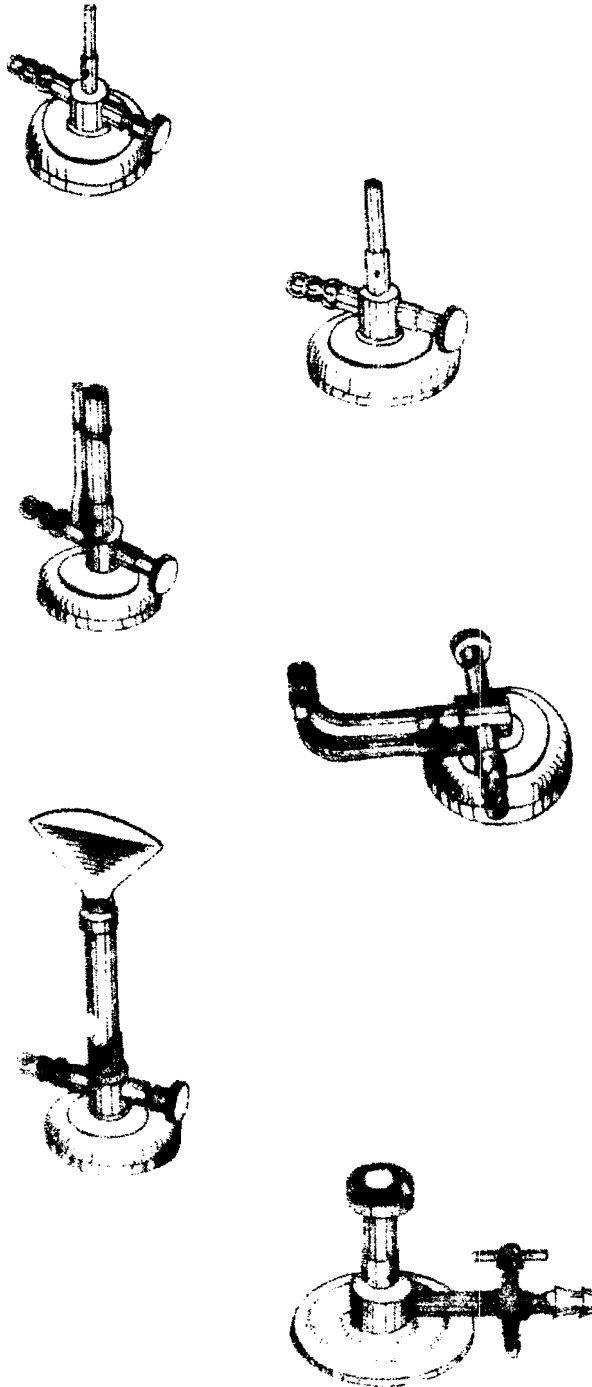


Support de Baguettes de
Verre en Préchauffage



Tonneau
pour Piler les Déchets
de Verre

Fig. 11



ORGANISATION PRATIQUE DU STAGE

Ce stage a pour but l'exécution et le montage d'appareils simples de laboratoire, d'après croquis, par le travail du Verre ordinaire et du Verre borosilicaté [Pyrex] .

Le stage se déroule à " L 'Atelier de Verre ", 78, rue du Docteur Roux à Saint-Maur-des-Fossés, où M. PHILIPPEAU nous donne toutes les explications nécessaires à la bonne réalisation des pièces qu'il nous propose, puis il réalise devant nous une démonstration complète de 1 'exercice.

Sa présence constante durant ces séances lui permet de souligner au passage les erreurs à éviter, ou les mauvaises habitudes à proscrire.

Vous trouverez par la suite dans ce document le programme des cours, ainsi que les schémas des exercices proposés par notre Maître de stage.

Durant ce stage, Ml. PHILIPPEAU a organisé des visites d'ateliers, - [au lycée D' Arsonval, à l'Ecole Nationale de Chimie) -, d'une verrerie, - [à Soisy-sur-Ecole] -, et de fournisseurs,, - [Ets Pelletier, CFG, Lefèvre, Richoux] -, afin qu'éventuellement nous puissions équiper convenablement un atelier de verre.

PROGRAMME

Chaque partie de ce programme fut détaillée par notre Maître de stage, comme l'indique la suite de ce chapitre. Ses explications furent suivies d'exercices pratiques, afin d'aborder dans de bonnes conditions les réalisations qui figurent au chapitre suivant.

PREPARATION DU VERRE

Le Verre à manipuler doit être propre. Des poussières ou des matières étrangères peuvent empêcher les soudures de tenir. Toute précaution doit être prise pendant le nettoyage pour éviter de rayer le Verre.

COUPE DU VERRE

Oifférentes méthodes peuvent être employées :

- La coupe à la main : pour couper les tubes de Verre jusqu'à 20 mm de diamètre. On raye le Verre à l'aide d'un couteau à Verre, sur une longueur de 4 à 8 mm suivant le diamètre du tube, en frottant le tranchant du couteau perpendiculairement à l'axe du tube. Dans cette opération, le pouce de la main gauche sert à guider l'outil manié de la main droite. On saisit le tube des deux mains, le trait de couteau en haut par rapport à la canne, les pouces de part et d'autre très près de l'entaille, puis on tire franchement selon l'axe du tube en remontant doucement les index. Le Verre se sépare. Si on mouille le surface rayée avec de l'eau, elle se rompra plus facilement.
- La coupe par choc thermique : utilisée pour des diamètres plus gros, On raye le Verre comme précédemment. La rupture est réalisée avec une pointe de Verre chauffée au rouge, que l'on place au début du trait de couteau.

- La coupe mécanique : réalisée avec une tronçonneuse équipée d'un disque diamanté tournant à grande vitesse, de l'eau arrive sur le disque pour lubrifier.

EBAABAGE, EGRENAGE, BORDAGE.

- Lorsque la coupe n'est pas parfaite sur un petit tube, il est possible de l'ébarber en frottant la partie à enlever avec une toile métallique.
- Il est également possible à l'aide d'une pince brucelle d'égrenier le Verre, en pinçant le rebord du tube pour enlever de petits morceaux. Il faut procéder lentement. Le port des lunettes est indispensable pour ébarber ou égréner.
- Pour border un tube, on le maintient de la main gauche, le coude appuyé sur la table, Le tube étant maintenu horizontalement on le fait tourner avec le pouce et l'index, la paume de la main en dessous, l'extrémité à border se trouvant dans la flamme.

MAINTIEN ET CHAUFFAGE DU VERRE

Les coudes sont appuyés sur la table, les deux mains de part et d'autre de la flamme, maintiennent le tube horizontalement;. La main gauche est située au-dessus du tube, le poignet plié, le pouce et l'index font tourner le Verre, les trois autres doigts servent de coussinets.

La main droite se place en dessous du tube, les doigts sont très rapprochés, le pouce et l'index tournent le tube qui repose au sommet du majeur et de l'annulaire.

Pour chauffer également les différentes parties du tube à travailler, il faut le faire tourner continuellement sur lui-même d'un mouvement uniforme. Il est indispensable de synchroniser

les mouvements des mains, sans **celà** on imprime une torsion à la partie ramollie, Il faut également **tenir** le tube en ligne droite, ne pas le resserrer ni le tirer.

ETIRAGE D'UNE POINTE

On chauffe dans la flamme l'extrémité du **tube** en le maintenant en rotation avec la main gauche. On applique sur cette extrémité du tube rougit, un morceau de baguette de Verre, que l'on soutient de la main droite. Il faut à ce stade mettre la baguette et le tube dans le même prolongement, chauffer **régulièrement** tout en tournant le Verre uniformément jusqu'au ramollissement. On sort alors de la **flamme** et **tout** en continuant le mouvement tournant et régulier, on étire le Verre doucement au début, plus fort vers la fin.

Beaucoup de **travaux** commencent par l'étirage **d' une** pointe, ces différents appareils seront d'autant plus faciles à réaliser que la pointe de Verre sera solide, centrée et pas vrillée.

EMBOUT TETINE fig. 12

On chauffe uniformément une petite portion du tube en tournant régulièrement. En cet endroit, le tube s'étrangle et on procède à un léger étirement **[a]**. On opère de la même façon en une portion voisine **[b]**. L'intervalle entre ces deux étranglements est ensuite **reporté** dans la flamme, chauffé, puis légèrement tassé en **[c]**, tout en poursuivant le mouvement de rotation. L'embout tétiné **est** terminé en tournant régulièrement, puis en faisant un **étirement** léger **[d]** suivi d'une **coupe** **[e]** et d'un **bordage** dans la flamme.

POINTE EPAISSE

On chauffe dans une grosse flamme un morceau de tube, tenu

horizontalement tout en tournant. Le Verre se ramollit, s'épaissit. Lorsque le Verre est suffisamment épais, on l'étire doucement hors de la flamme tout en continuant la rotation. Couper, puis border.

FOND ROND

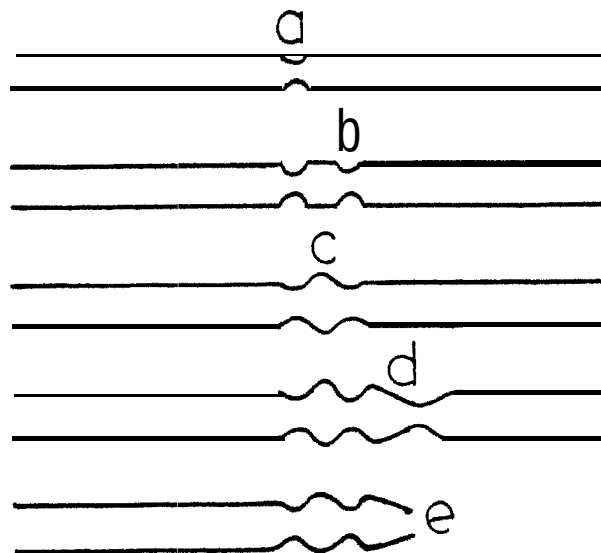
fig. 13

Sur un tube, on étire une pointe à l'une des extrémités. Il est nécessaire que cette pointe soit centrée. Avec une flamme raide, tout en tournant bien régulièrement de la main gauche, on enlève la pointe. A l'extrémité du cône s'est formée une pastille [point a] qui doit être centrée. Il faut ensuite rougir, puis souffler [en S 3 cette goutte, afin de la faire disparaître. Avec une flamme assez douce, bien enveloppante, on chauffe tout l'ensemble, puis on souffle pour arrondir. Enfin on recuit.. Le fond rond doit être de la même épaisseur que le tube, la pastille doit avoir disparu.

COURSE

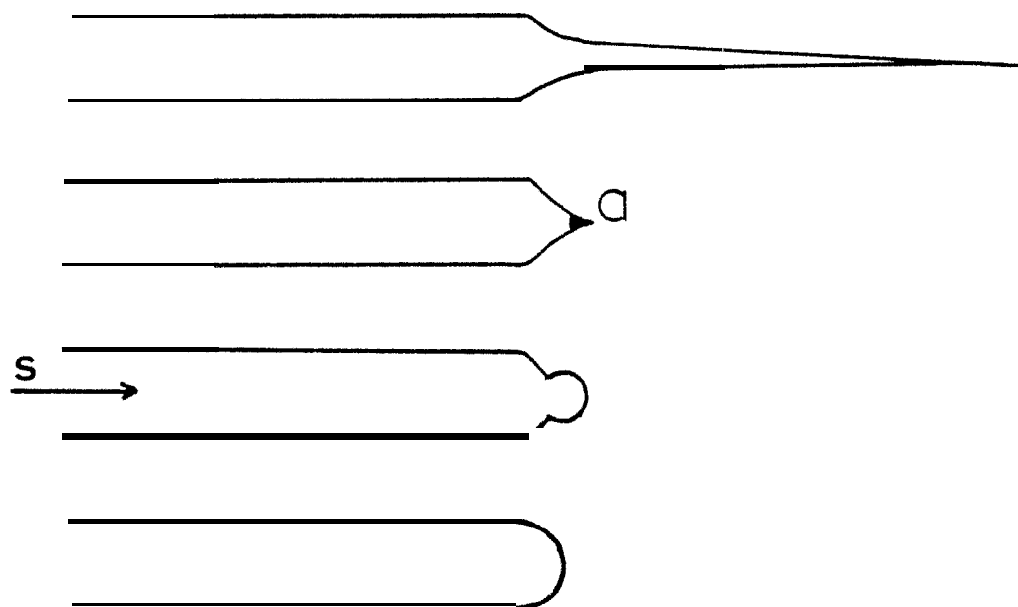
On chauffe le tube à l'endroit que l'on veut courber, avec une flamme large. Cette chauffe se réalise sur une longueur égale à l'arc qui doit former la courbe. On imprime au tube un mouvement de va-et-vient dans le sens horizontal, tout en le roulant d'avant en arrière d'un quart de tour sur les doigts. Dès que le Verre est suffisamment malléable, on sort le tube de la flamme et on le courbe jusqu'à l'angle désiré. Pour les courbes réalisées sur un petit diamètre, il n'est pas nécessaire de souffler, Dans le cas des tubes de gros diamètres on devra chauffer davantage la partie extérieure de la courbe dans le tube pendant qu'on le plie, pour éviter l'écrasement. On peut rectifier une courbe écrasée en chauffant l'intérieur de celle-ci avec une flamme large, puis en soufflant.

Fig. 12



Fond rond

Fig. 13



TUBE EN U

On marque le milieu de la courbe avec un crayon pour écrire sur le Verre, Le Verre est tenu entre le pouce et l'index de **chaque** main, et il est chauffé dans une grande flamme en le déplaçant continuellement pour le ramollir, de part et d'autre du trait.. Il faut chauffer davantage la partie convexe de la courbe, car son développement est plus important que, celui de la partie concave.

Dès que le Verre aat ramollit, on le sort de la flamme et on le plie d'un seul coup en soufflant par une extrémité du tube, l'autre étant bouchée par une pointe,

Pour les gros tubes, la flexion peut être faite en plusieurs fois. Dans tous les cas, bien recuire le U.

BOULE SUR UN TUBE fig. 14

1 - On étire une pointe à chacune des extrémités du tube, afin d'obtenir une ampoule. Ces pointes doivent être **parfaitement** centrées.

Avec une flamme douce bien enveloppante, on chauffe d'une façon régulière en tournant et en massant le Verre, pour obtenir une masse importante et bien chaude. On sort le Verre doucement de la flamme tout en poursuivant la rotation, puis on souffle la boule tout en tournant la Verre.

2 - Pour obtenir une boule entre deux pointes, on prépare une ampoule **comme** précédemment [a].

Avec une flamme raide on épaissit le Verre sur chaque partie conique de l'ampoule : pour **celà** on tourne le Verre régulièrement, sans le pousser ni le tirer, les forces de tension superficielle suffisent pour réaliser **cet** épaississement, Le flamme **doit** être légèrement en **biais** par rapport à l'ampoule [b et c].

Avec une flamme chaude, large, bien enveloppante, on chauffe la moitié gauche **de** l'ampoule en tournant et en massant le Verre, pour **obtenir** une masse importante et bien chaude. Puis on souffle une petite boule tout en tournant le Verre [d]. On déplace ensuite la flamme au centre de la deuxième moitié du cylindre et on réalise une boule identique à la première [e]. On rassemble les deux boules en chauffant au milieu afin d'**ob-**tenir une seule masse bien homogène que l'on souffle en tournant le Verre. [f].

BOULE EN BOUT DE TUBE : ballon fig. 15

Comme dans le cas précédent, on souffle deux petites boules bien épaisses, puis on les rassemble [a, b, c, d]. On supprime la pointe qui se trouve à l'extrémité de la boule afin de réaliser un fond rond [e et f].

Dans une flamme large et chaude, on fond en tournant de la main gauche la totalité de la boule, qui diminue de diamètre tout en s'épaississant. [g].

Lorsque le Verre est bien fondu, bien homogène, il faut sortir doucement de la flamme, attendre quelques **instants**, puis sans cesser la rotation, souffler progressivement pour obtenir un ballon [h],

Il est possible, si le résultat n'est pas satisfaisant, de **ré-**chauffer la boule et de la **ressouffler**.

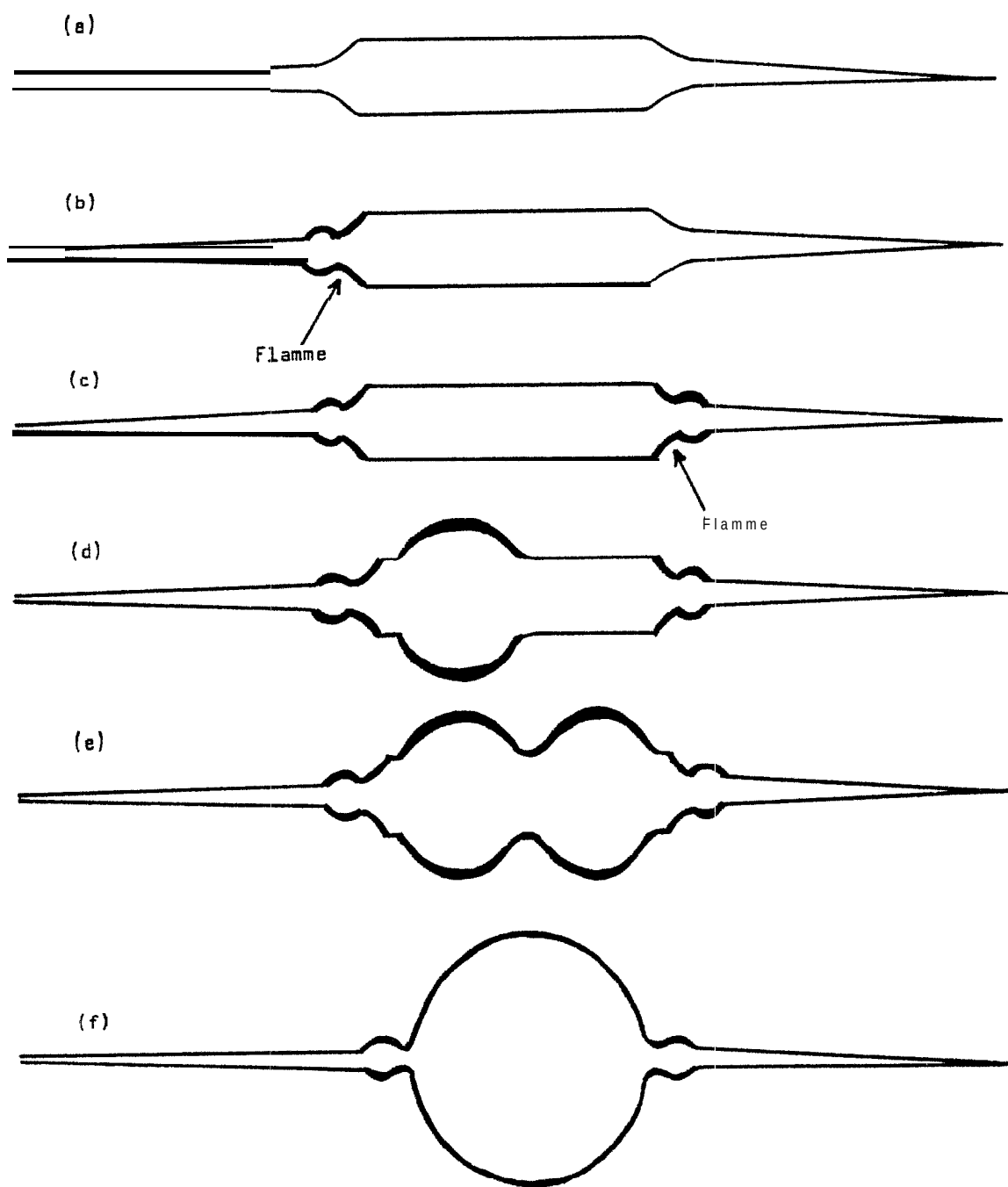
BALLON A FOND PLAT

Avec une flamme assez raide ou mieux, avec une buse râteau, on chauffe le fond du ballon. Le Verre se rétracte et le fond plat se forme dans la mesure où l'on tourne régulièrement.

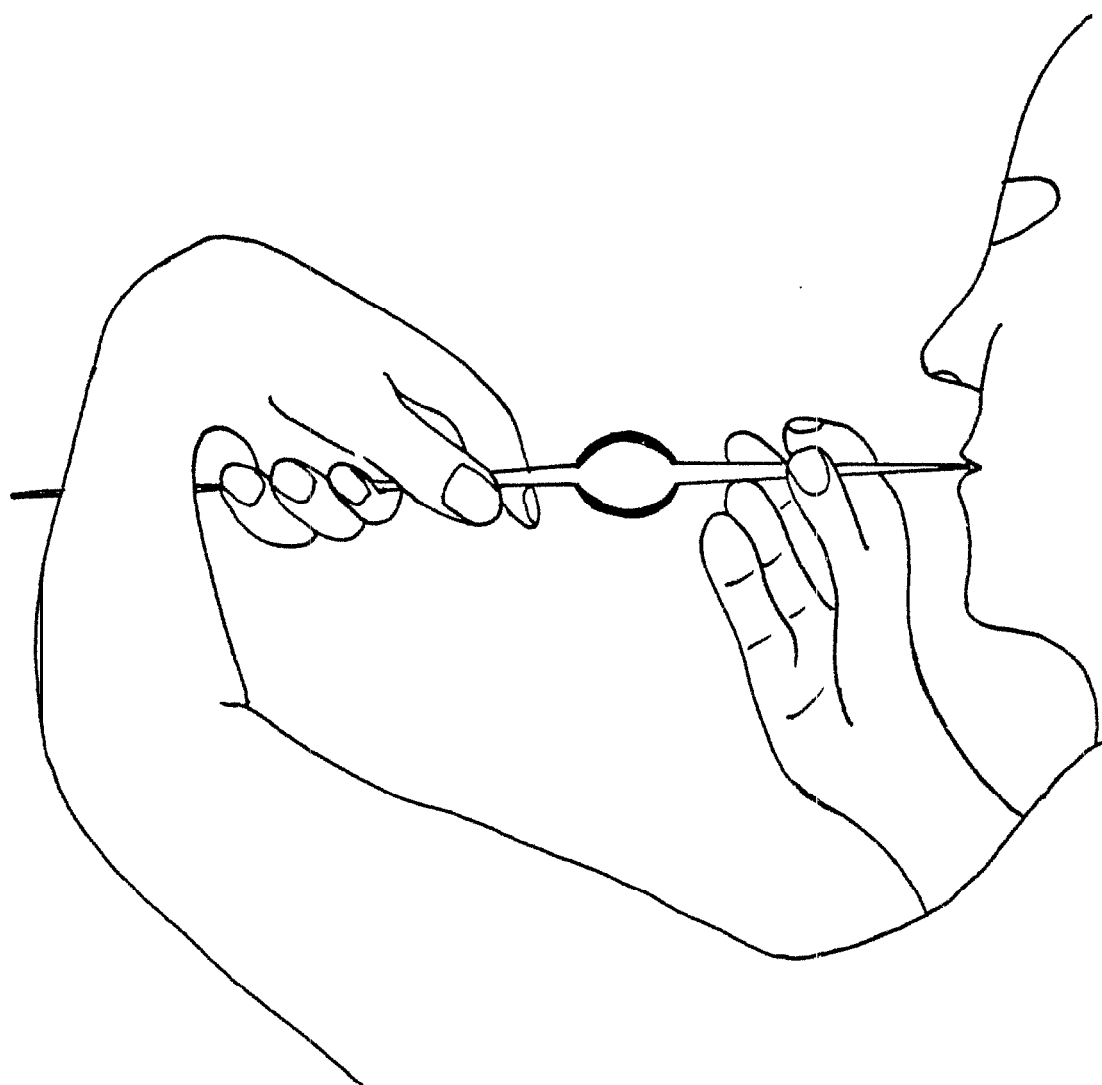
On peut également, à l'aide d'un charbon tenu de la main **droite**, régulariser le fond plat.

Boule sur un tube

Fig. 14

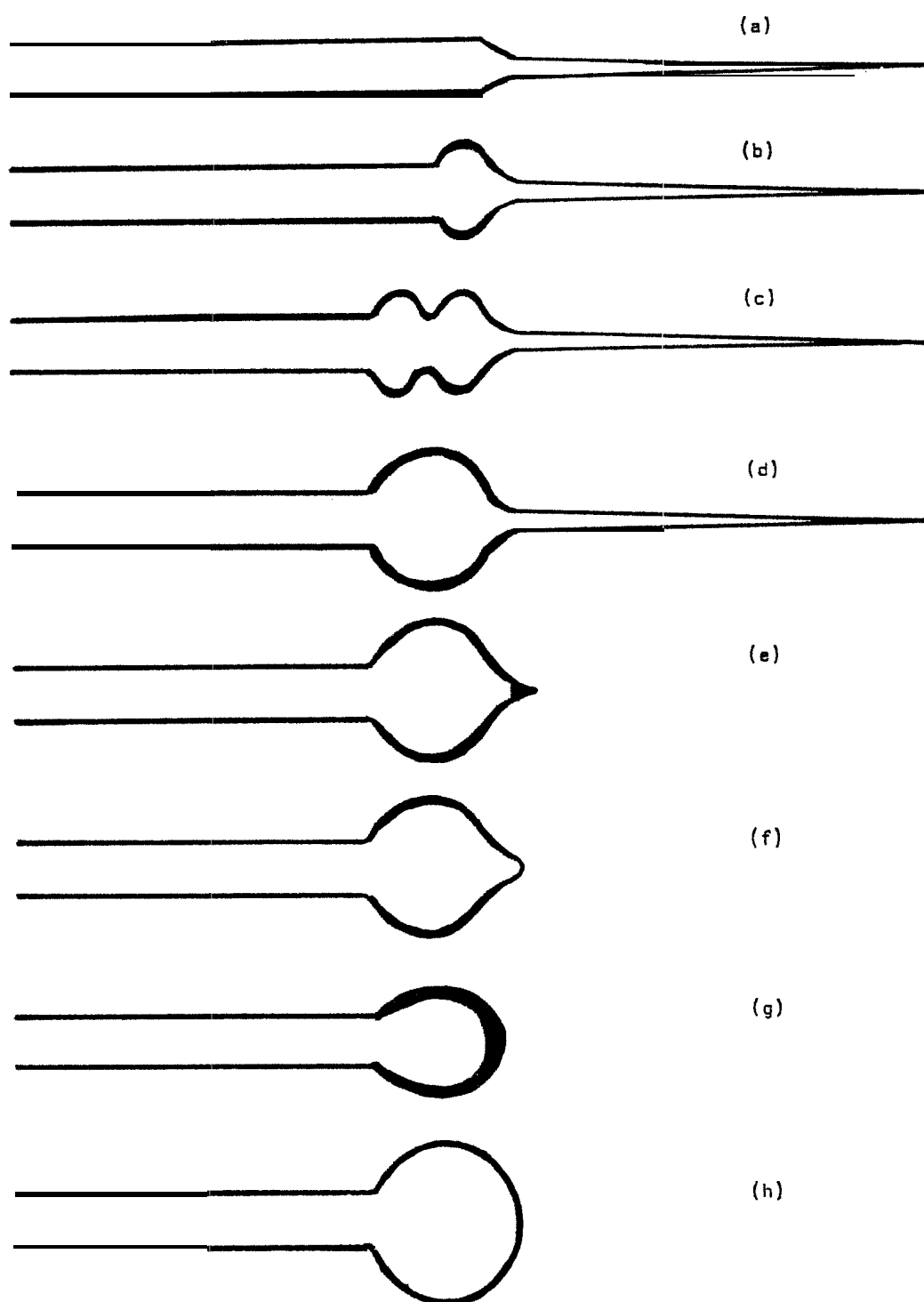


Position des mains pour le soufflage d ' une boule.



Ballon à fond rond

Fig. 15



SOUDURE AXIALE fig. 16

L'opération consiste à relier deux **tubes** de -même diamètre ou de diamètres différents dans le même axe.

On prépare une ampoule sur le plus gros **diamètre** [a]. On chauffe légèrement à la naissance de la pointa [b]. Dès que le Verre est malléable, on tire avec la main droite jusqu'à Séparation, tout en tournant très régulièrement de la main gauche.

Une pastille s'est formée à l'extrémité du cône ainsi obtenu [c]. Avec une flamme raide et assez courte on fond **énergiquement** jusqu'à l'obtention d'un méplat correspondant au diamètre du petit tube [d]. Cette **opération** se réalise tout en tournant le Verre régulièrement de la main gauche. Lorsque le méplat est réalisé on souffle afin de projeter cette **quantité** de Verre [e], puis on élimine la pellicule formée par cet éclatement [f],

Fondre ensuite les extrémités des deux tubes, puis les appliquer délicatement l'une contre l'autre dans le flamme [g].

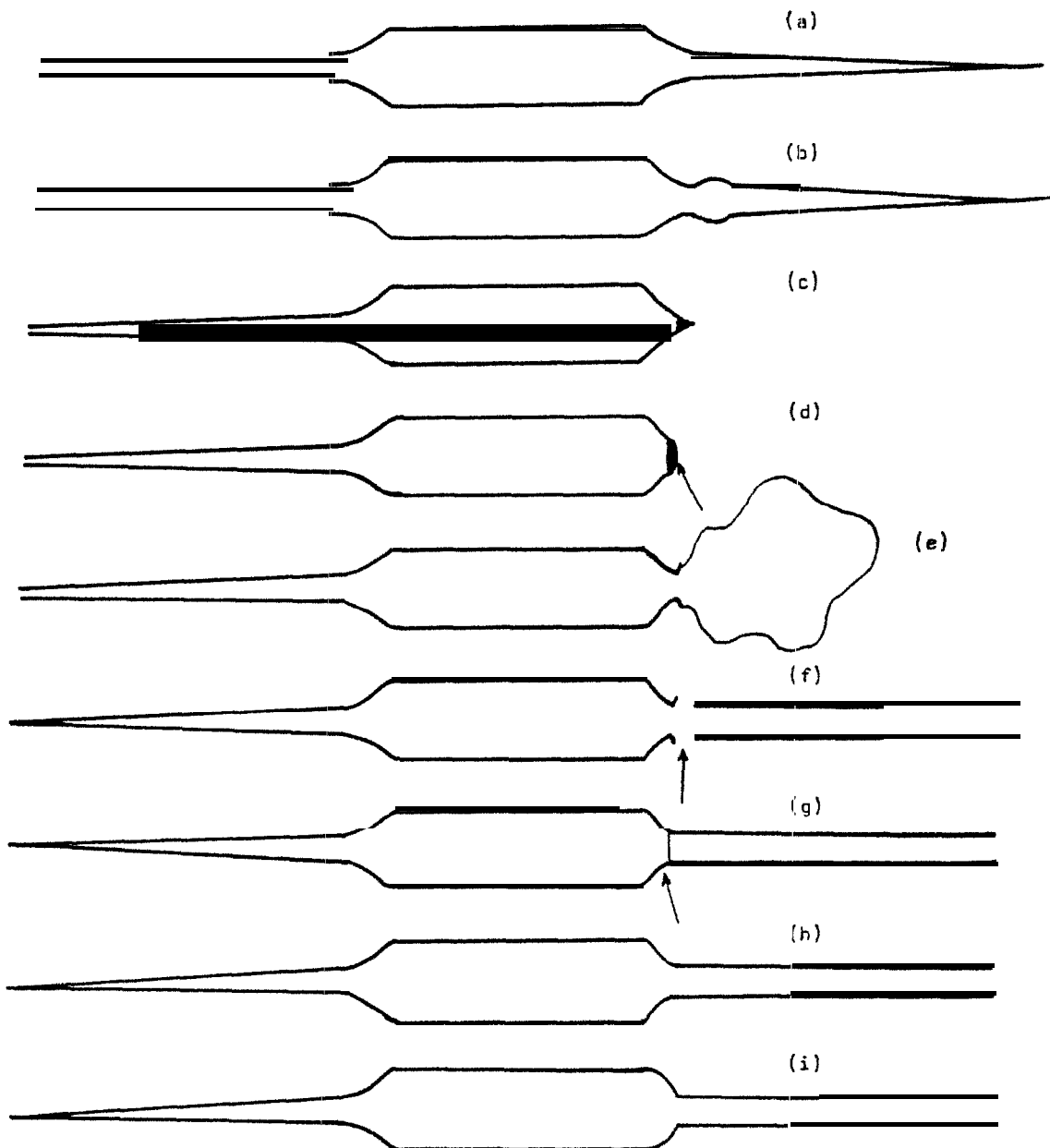
En dehors de la flamme il faut étirer pour répartir l'épaisseur et souffler pour redistribuer le diamètre : ces opérations s'enchaînent rapidement pour bénéficier de la plasticité du Verre. Avec une flamme raide on chauffe fortement le **collage**, tout en tournant régulièrement, en donnant la priorité à la partie la plus réfractaire [à gauche du collage].

La soudure est **faite** lorsqu'il n'y a plus de trace du collage [h].

On chauffe la partie intermédiaire comprise entre les deux tubes afin d'établir, en soufflant petit à petit, une forme hémisphérique [i], la rotation du Verre se poursuivant jusqu'à la fin de la réalisation.

Soudure axiale

Fig. 16



SOUDURE LATÉRALE fig. 17 et 18

L'opération consiste à relier une dérivation sur une canalisation principale. Les deux tubes peuvent avoir le même diamètre ou des diamètres différents à un angle donné [fig.17]. Sur une ampoule on dirige la pointe d'une flamme assez fine à l'endroit où l'on veut réaliser la soudure; en soufflant en dehors de la flamme, il se produit un appendice [a]. Lorsque le diamètre de base de cette bosse est légèrement inférieur au diamètre du tube à souder [b], on chauffe l'extrémité du boscage et on souffle rapidement pour éclater [c].

On présente les deux ouvertures face à face dans la flamme, afin de les rougir [d]. Les deux tubes sont raccordés dans la flamme [e] en posant le tube latéral sans appuyer, en tirant aussitôt pour dégager la soudure, et en soufflant pour diminuer l'épaisseur du bourrelet.

Après le collage, on réalise la soudure par parties sans attendre.

Cette soudure se réalise avec une très petite flamme : on réalise d'abord les angles 1 et 2, puis les côtés 3 et 4 [f].

Il est ensuite nécessaire de bien recuire la soudure,

Dans le cas d'une soudure latérale de gros tubes [fig. 18], il faut étirer une pointe sur le tube latéral et procéder à un éclatement comme pour la préparation d'une soudure axiale.

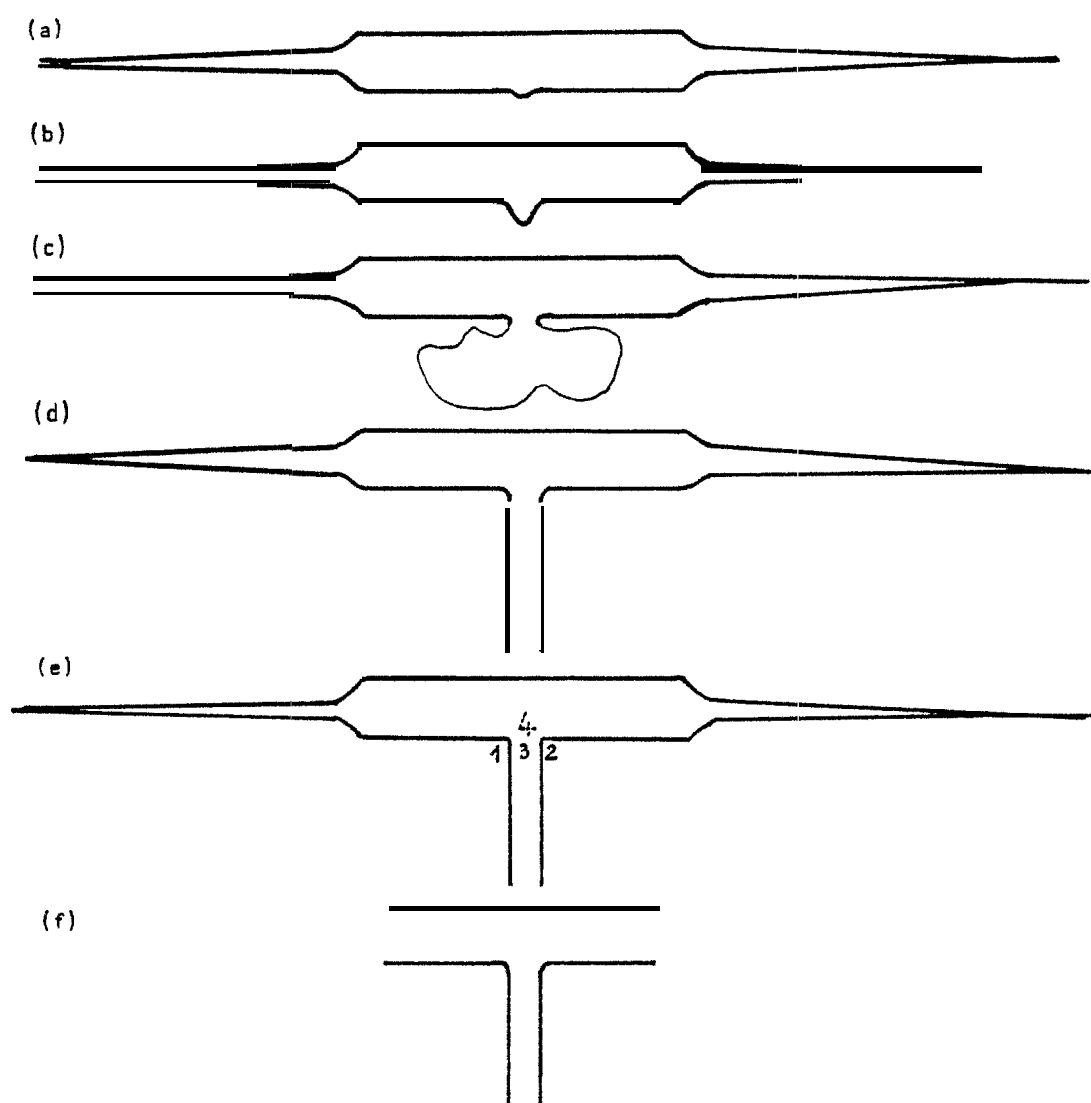
Cf. a, b, c, d].

POINTE VIGREUX

On chauffe la partie à enfoncer avec une petite flamme très raide. Quand cette partie du Verre est très chaude, on la repousse avec un pointeau métallique préalablement passé dans de la paraffine pour empêcher son adhérence au Verre. Puis on recuit la pointe ainsi formée.

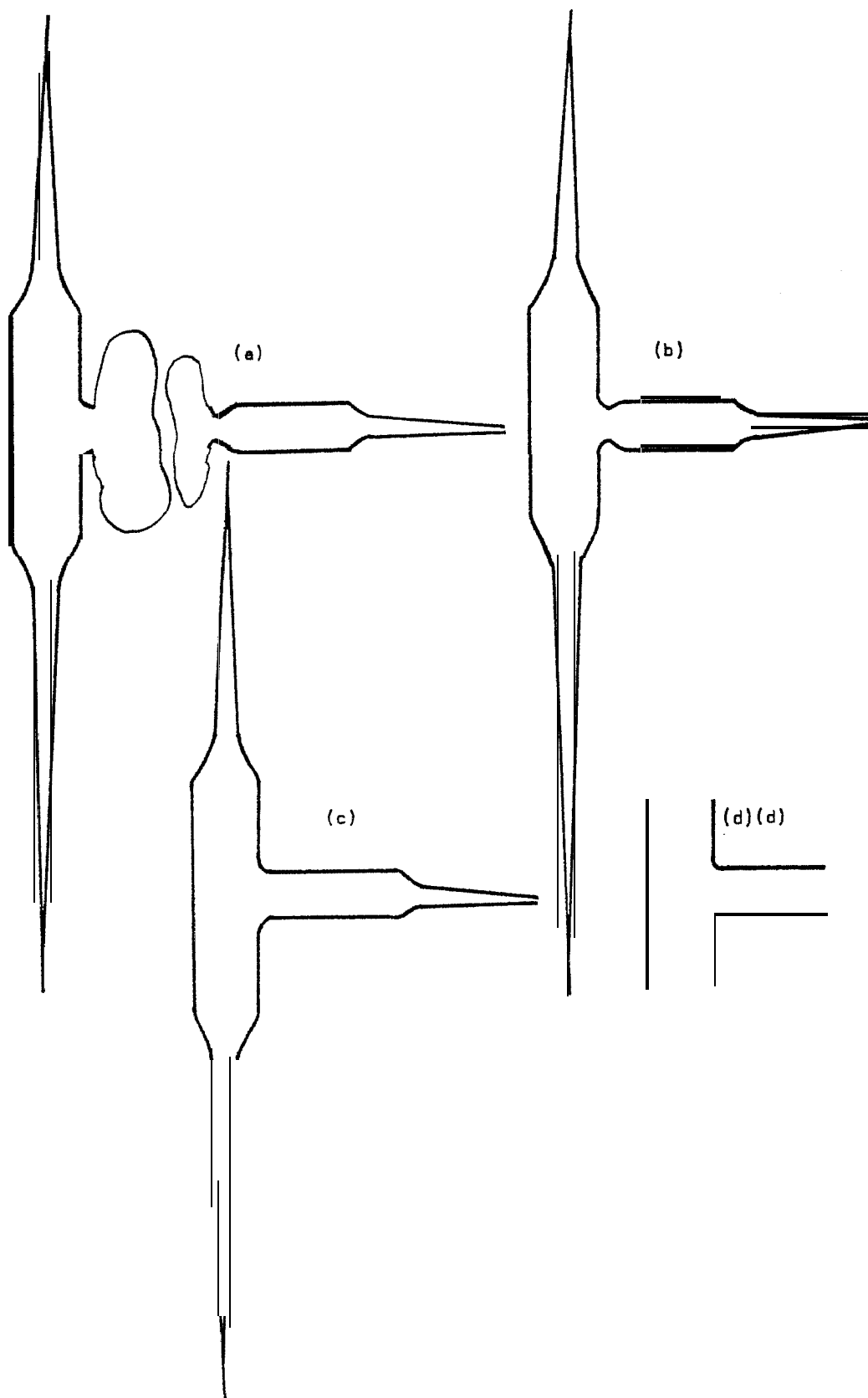
Soudure latérale

Fig. 17



Soudure de gros tubes

Fig. 18



ASSEMBLAGE TYPE SVL

Deux types de jonctions à pas de vis existent :

- Jonction rigide
- Jonction coulissante

Elles permettent les assemblages entre deux éléments de Verre, ou de Verre et de métal. Ces systèmes ne sont que la transposition, pour le Verre, des filetages classiques des métaux.

1- Jonction rigide : fig. 19

Elle est réalisée par un assemblage bout à bout de deux raccords à vis [1] de même taille maintenus par une bride [2] spécialement étudiée et brevetée. Un anneau [3] placé entre les deux raccords à vis assure l'étanchéité de l'assemblage.

L'anneau d'étanchéité est une rondelle de caoutchouc de silicone et de P.T.F.E.

La bride est constituée de deux demi-bridges en phénoplaste, à vissage indépendant, rendues solidaires par une virole. Chaque demi-bride se visse sur un raccord sans qu'il soit nécessaire de tourner celui-ci.

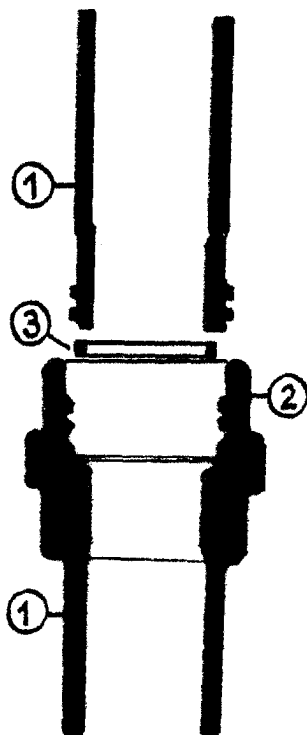
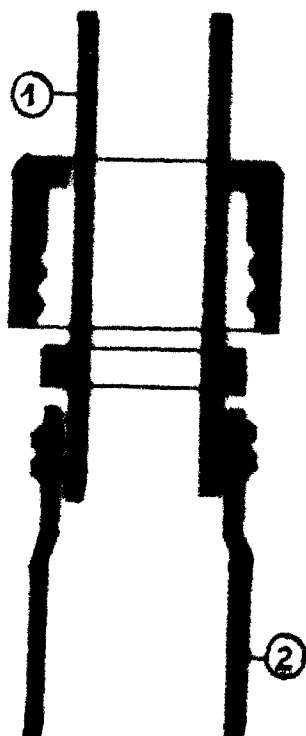
2- Jonction coulissante : fig. 20

Réalisée par l'assemblage coulissant d'un raccord à vis [1]

avec un autre raccord à vis [2] de taille immédiatement supérieure ou inférieure ou bien encore avec un tube lisse de diamètre approprié, la jonction coulissante utilise comme accessoires :

- un anneau d'étanchéité q u i est une rondelle de caoutchouc de silicone et de P.T.F.E.
- un capuchon percé, en phénoplaste qui vient se *visser* sur le raccord à vis de taille supérieure et comprimer l'anneau d'étanchéité.

ASSEMBLAGE TYPE SVL

Fig. 19Fig. 20

0



REALISATIONS

Dans ce chapitre nous mettons en application, à travers des pièces complètes, les différents points abordés dans le programme.

Nous réalisons ces pièces en temps limité parfois, afin d'améliorer la vitesse d'exécution. Notre Maître de stage effectua une démonstration afin d'insister plus particulièrement sur les points délicats,

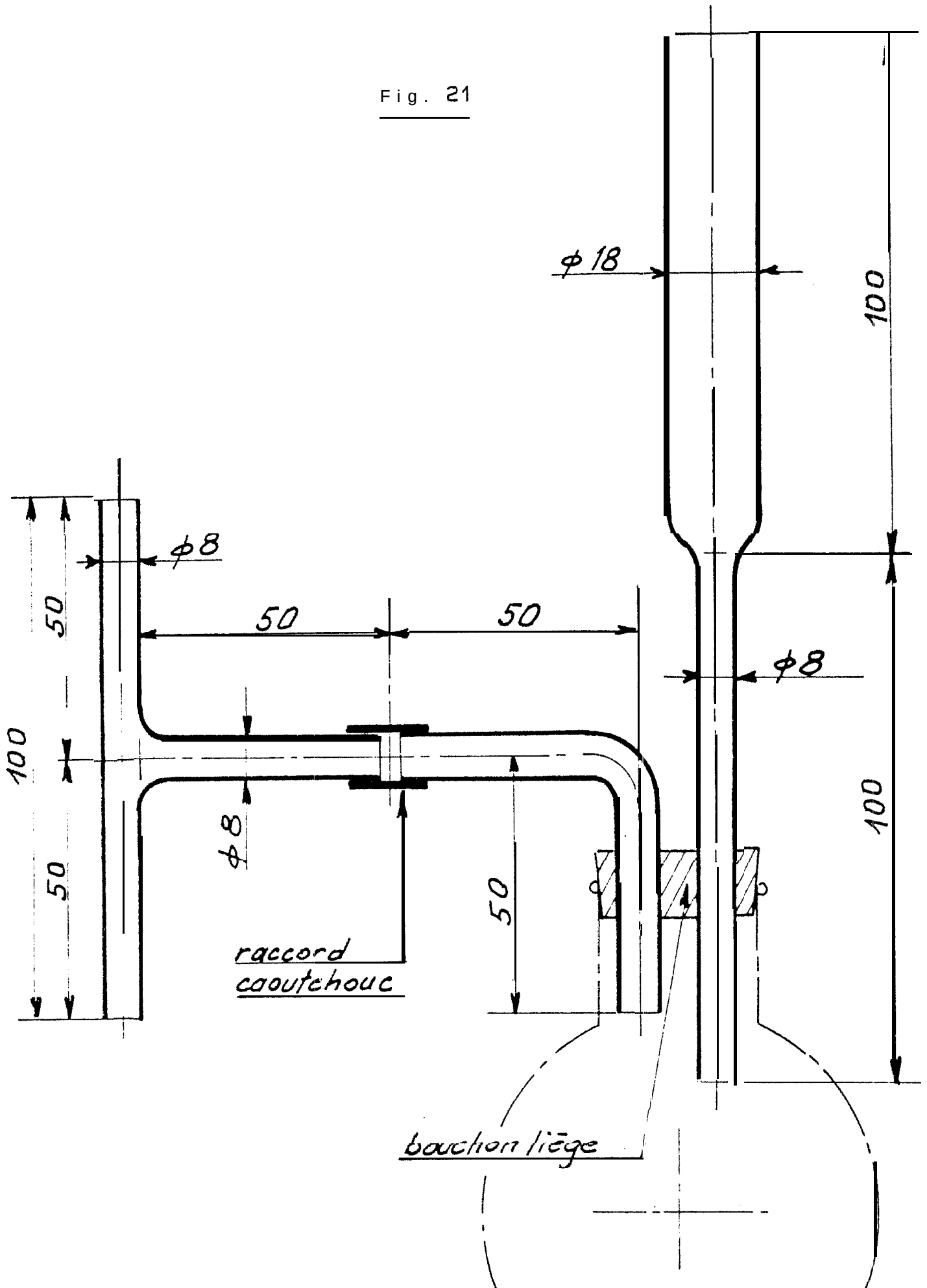
Voici la liste des appareils réalisés et les schémas qui nous furent remis par Monsieur PHILIPPEAU.

- Tube à dégagement :	fig. 21
- Appareil à réduction :	fig. 22
- Pulvérisateurs :	fig. 23 et fig. 24
- Trompe à eau :	fig. 25
- Réaction avec agitation :	fig. 26
- Compte bulles :	fig. 27
- Flacon laveur :	fig. 28
- Entraînement à la vapeur :	fig. 29
- Exercice de synthèse :	fig. 30
- Réfrigérants :	fig. 31 et fig. 32
- Séparateur à deux branches :	fig. 33
- Colonne :	fig. 34
- Appareil à distiller sous vide :	fig. 35
- Colonne Vigreux :	fig. 36
- Burette à zéro automatique :	Fig. 37
- Clapet anti-retour :	fig. 38
- Semi-micro distillation :	fig. 39
- Collecteur de fractions :	fig. 40

- Débitmètres : fig. 41 et fig. 42
- Sublimation : fig. 43
- Exercices de synthèse : fig. 44 - 45 - 46
47 - 48 - 49

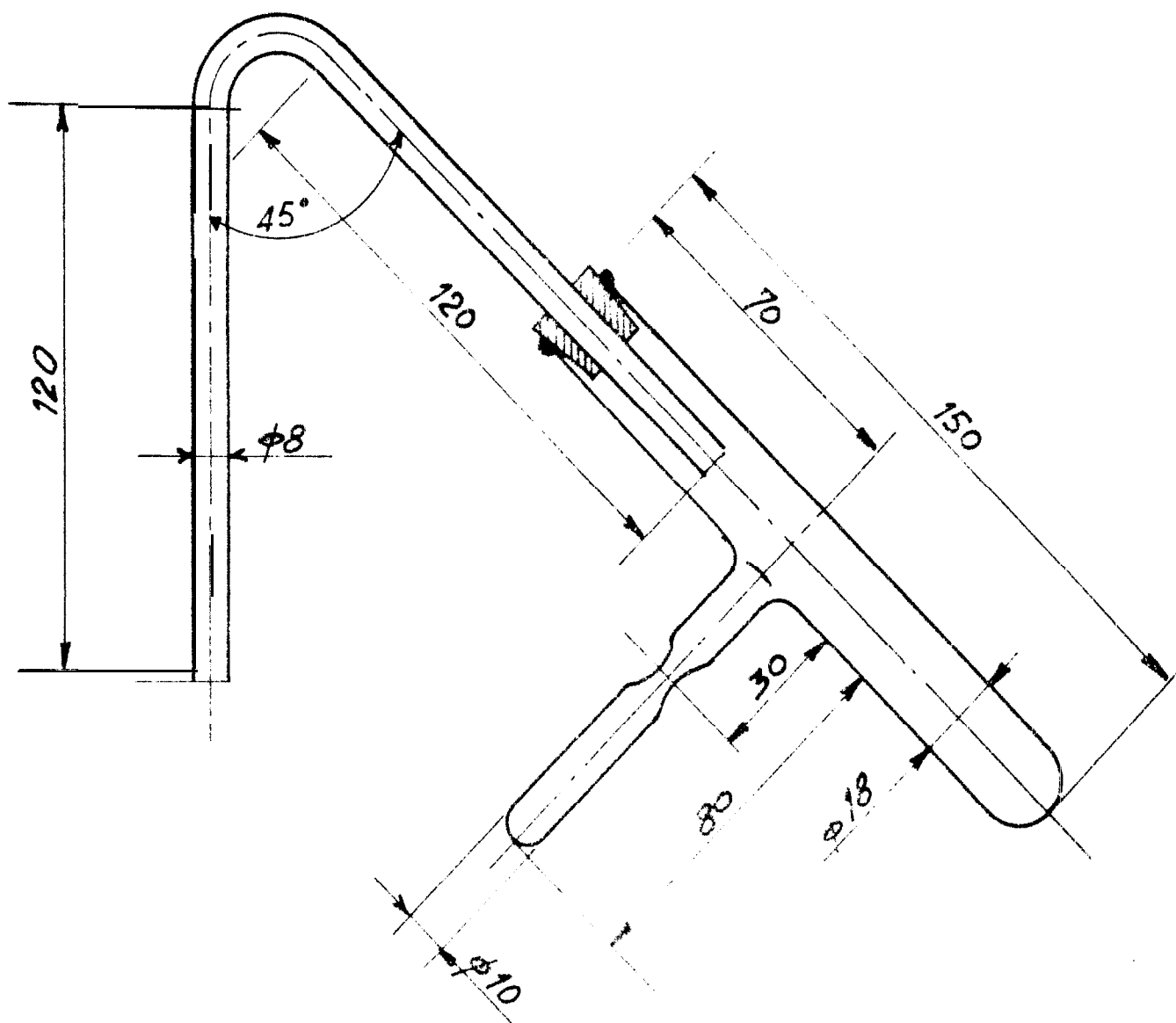
Tube à dégagement

Fig. 21



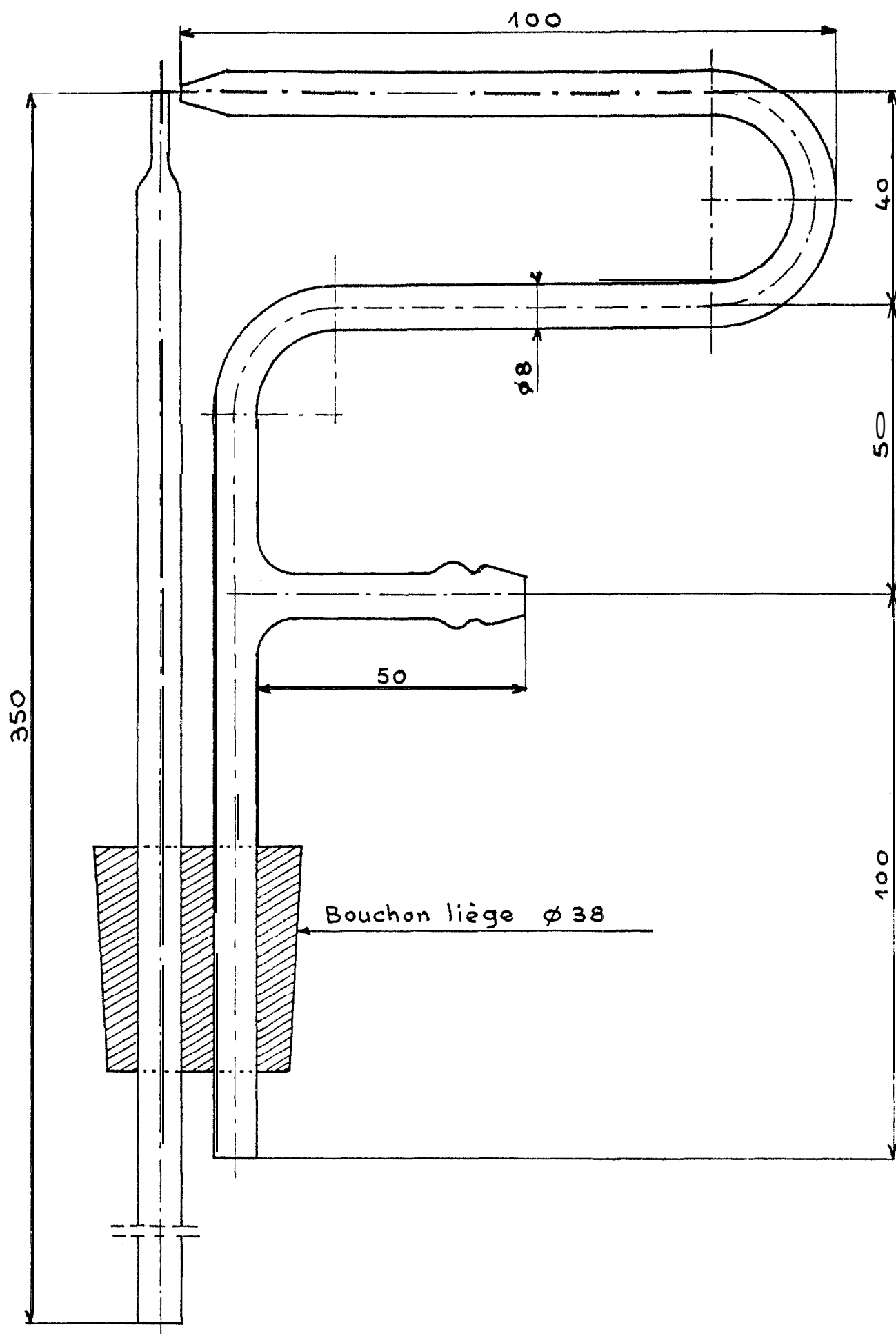
Appareil à réduction

Fig. 22



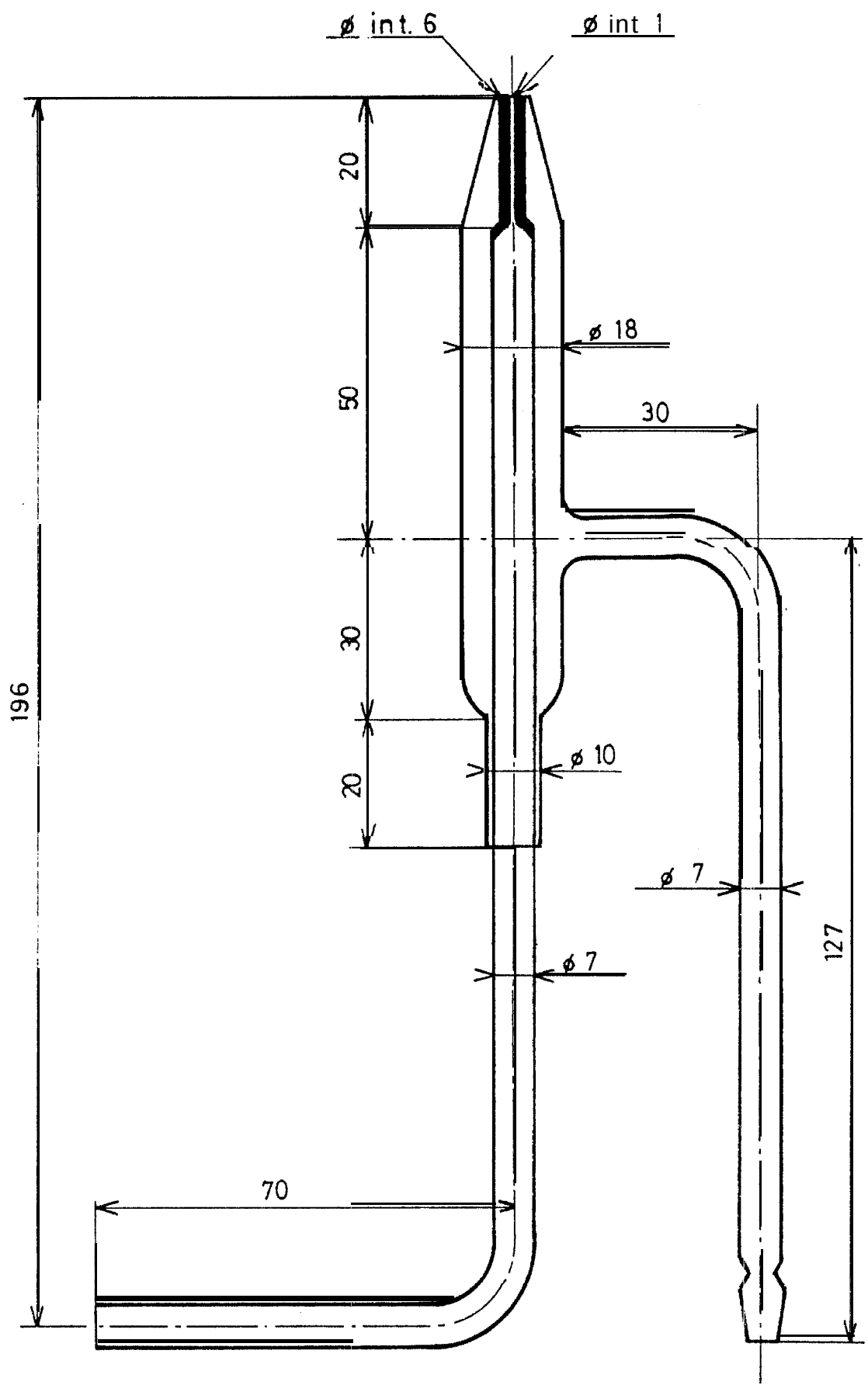
Pulvérisateur

Fig. 23

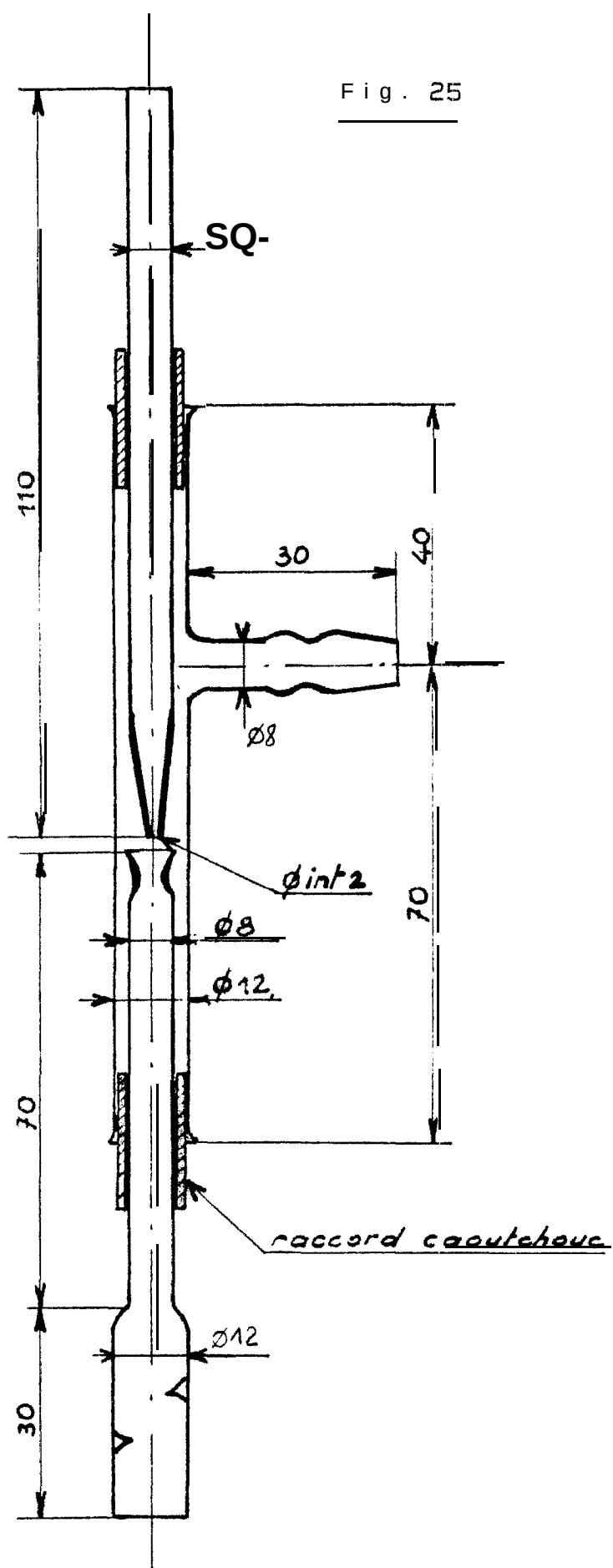


Pulvérisateur

Fig . 24



Trompe à eau



Réaction avec agitation

Fig. 26

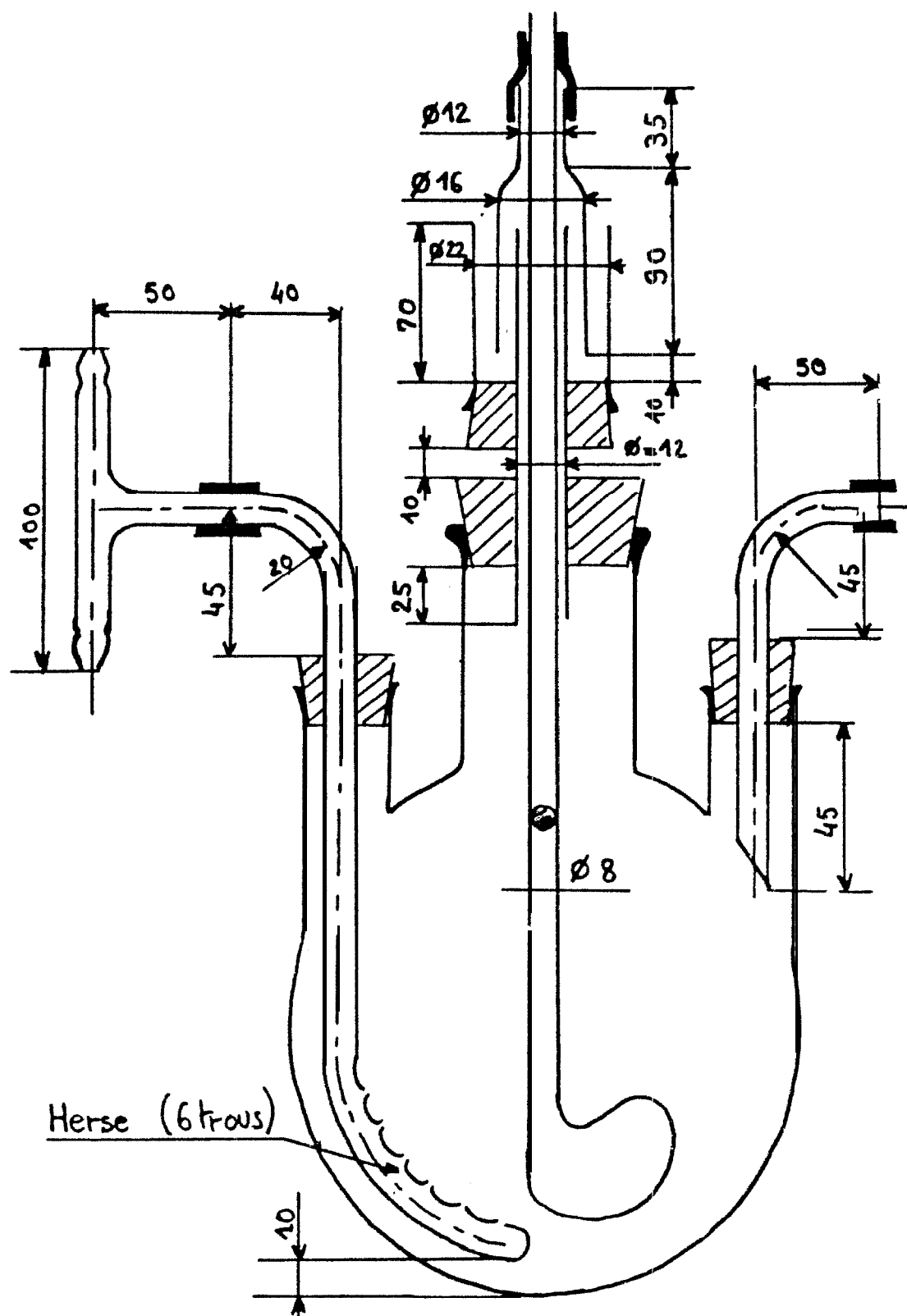


Fig. 27

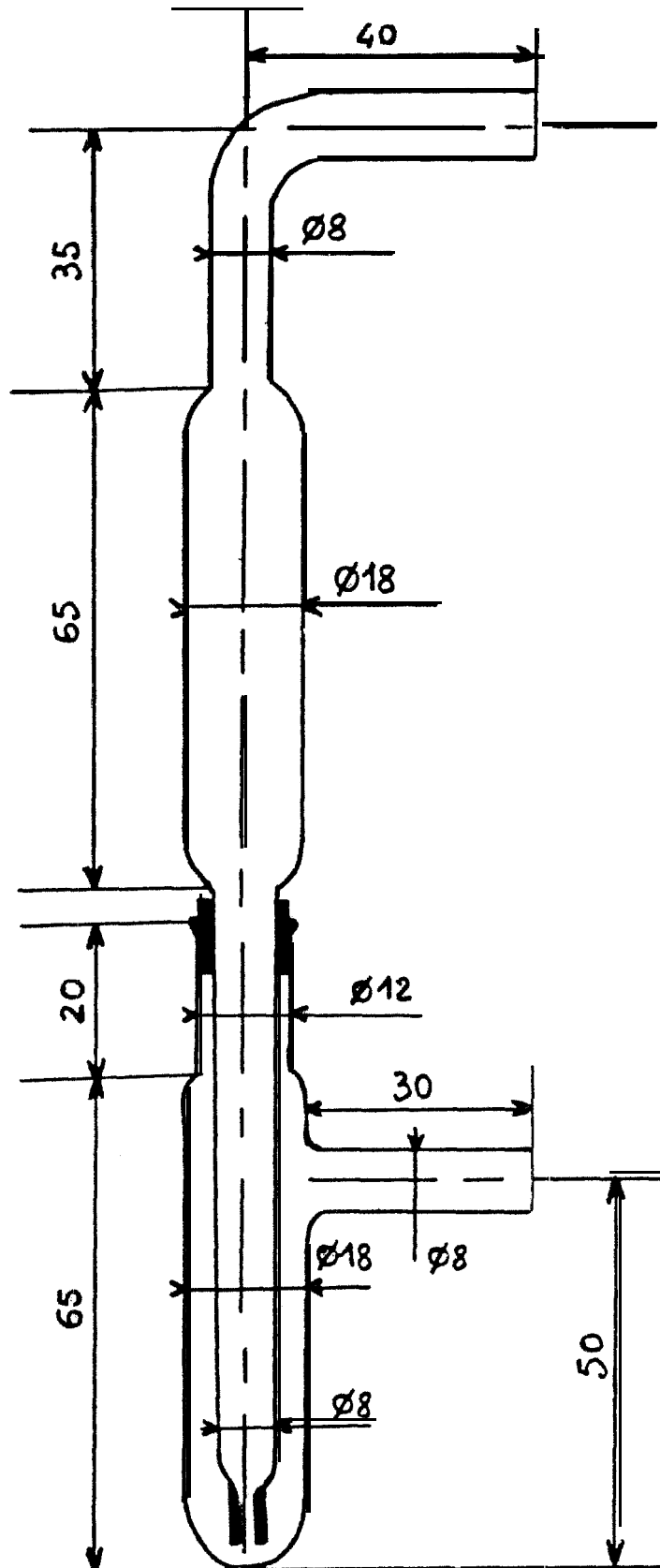
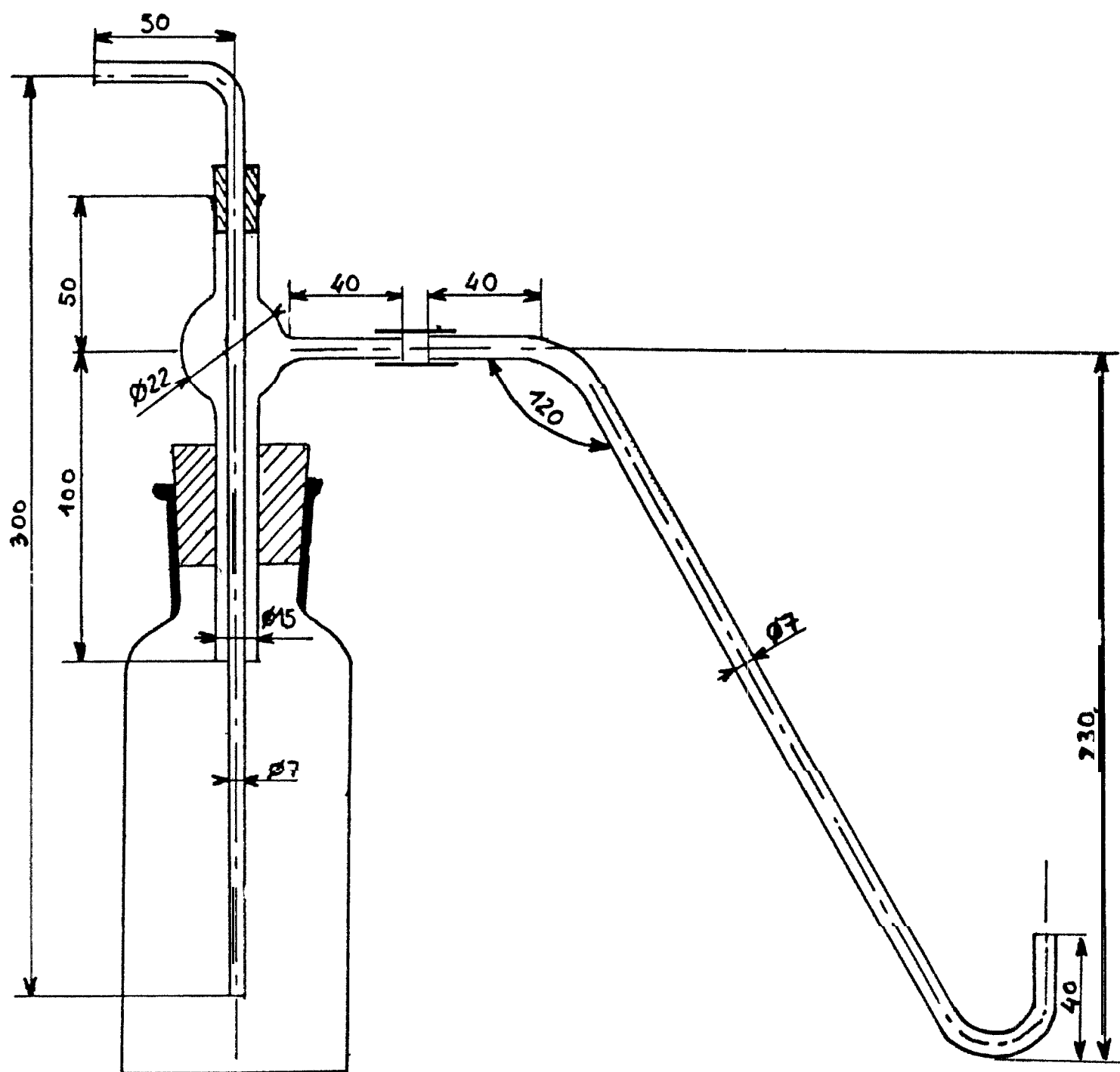


Fig. 28



Entrainement à la vapeur

Fig. 29

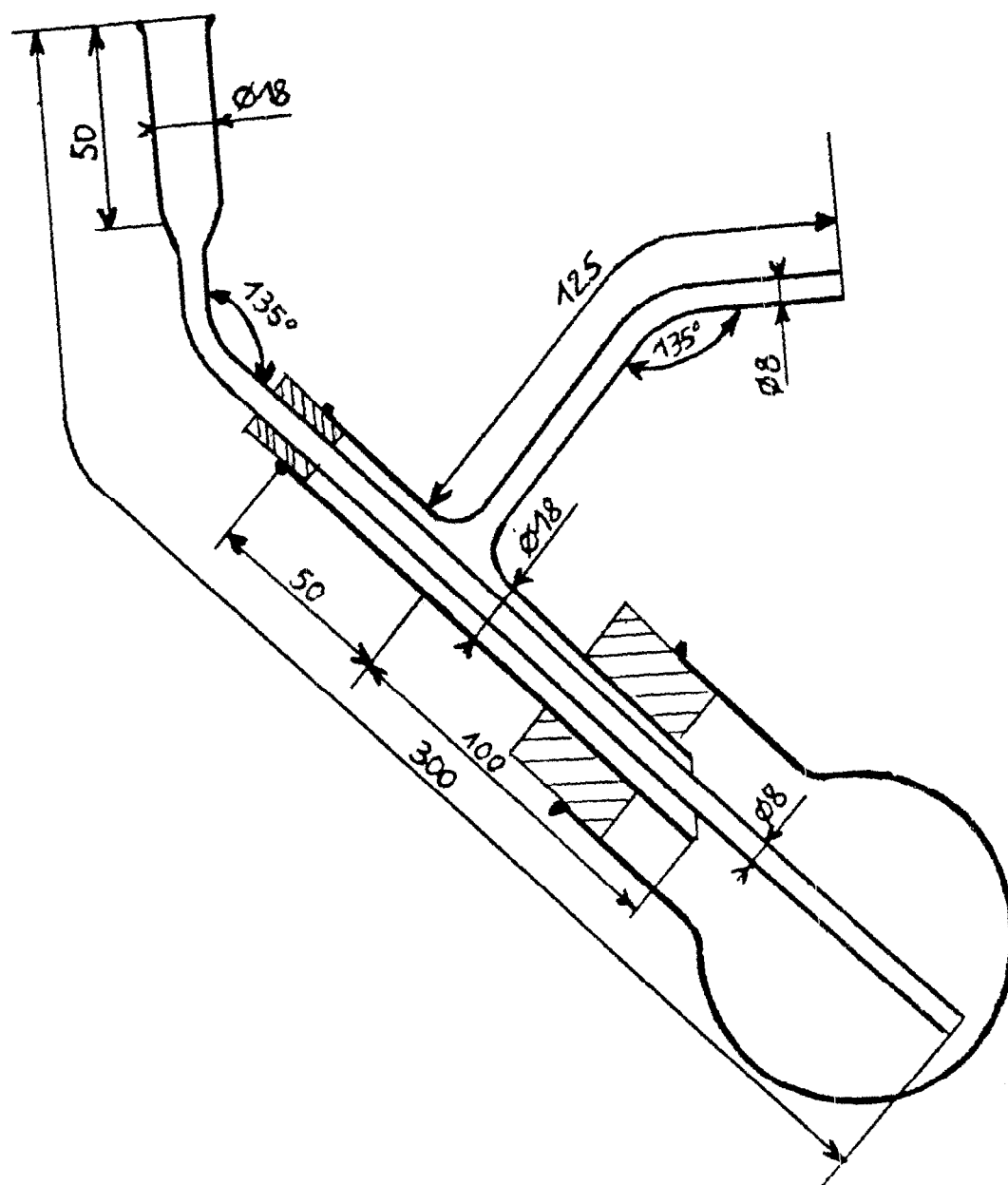
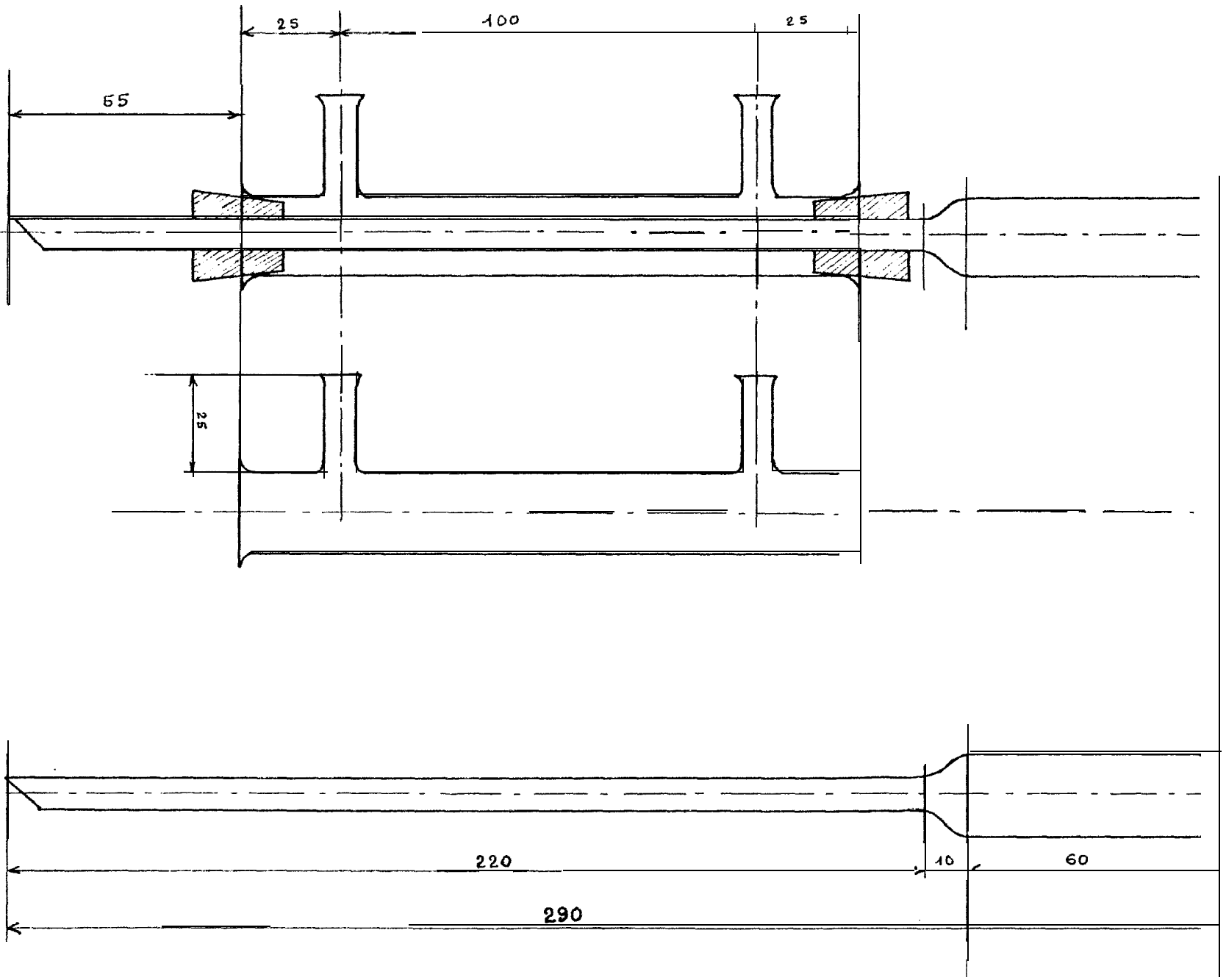
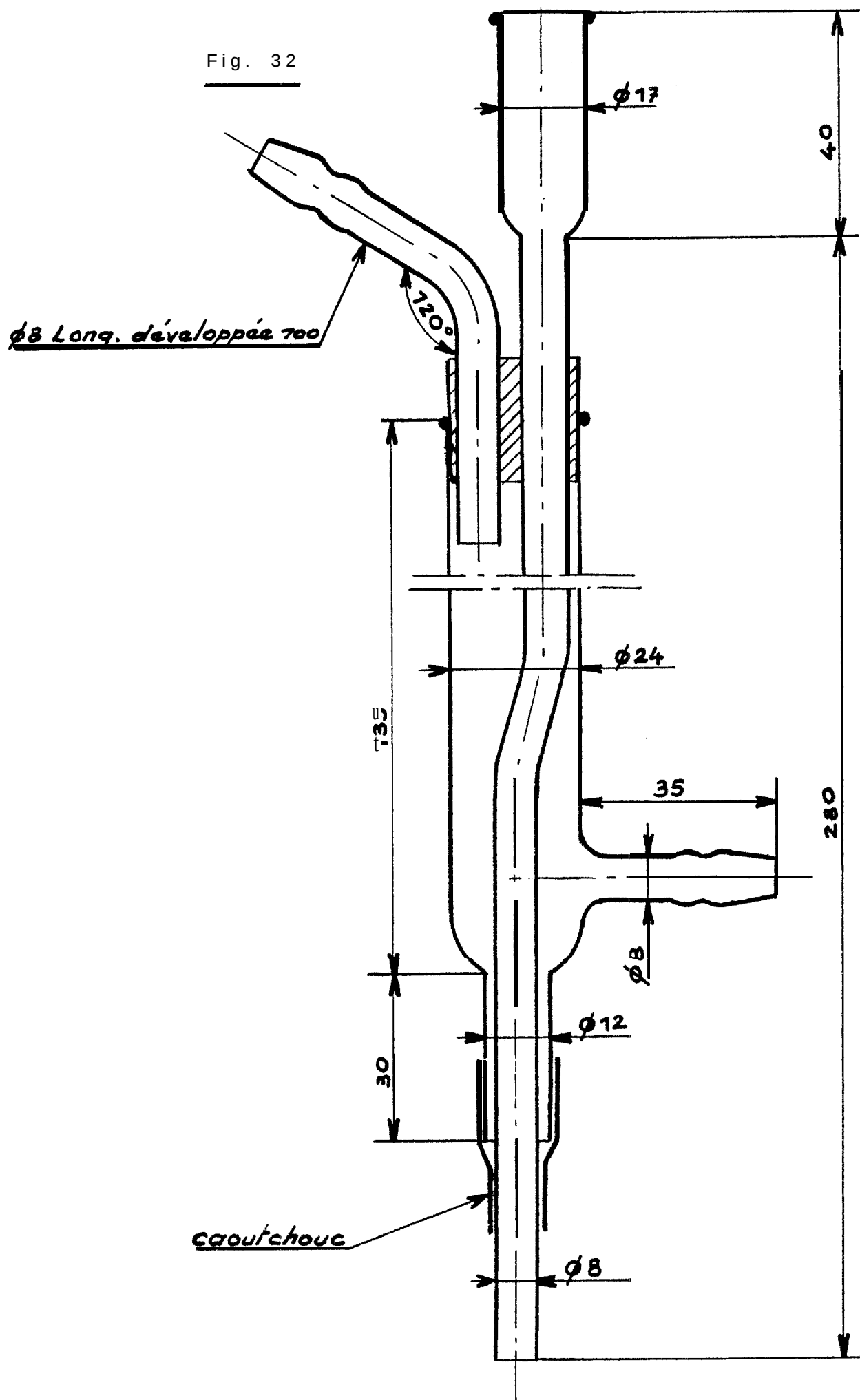


Fig. 31



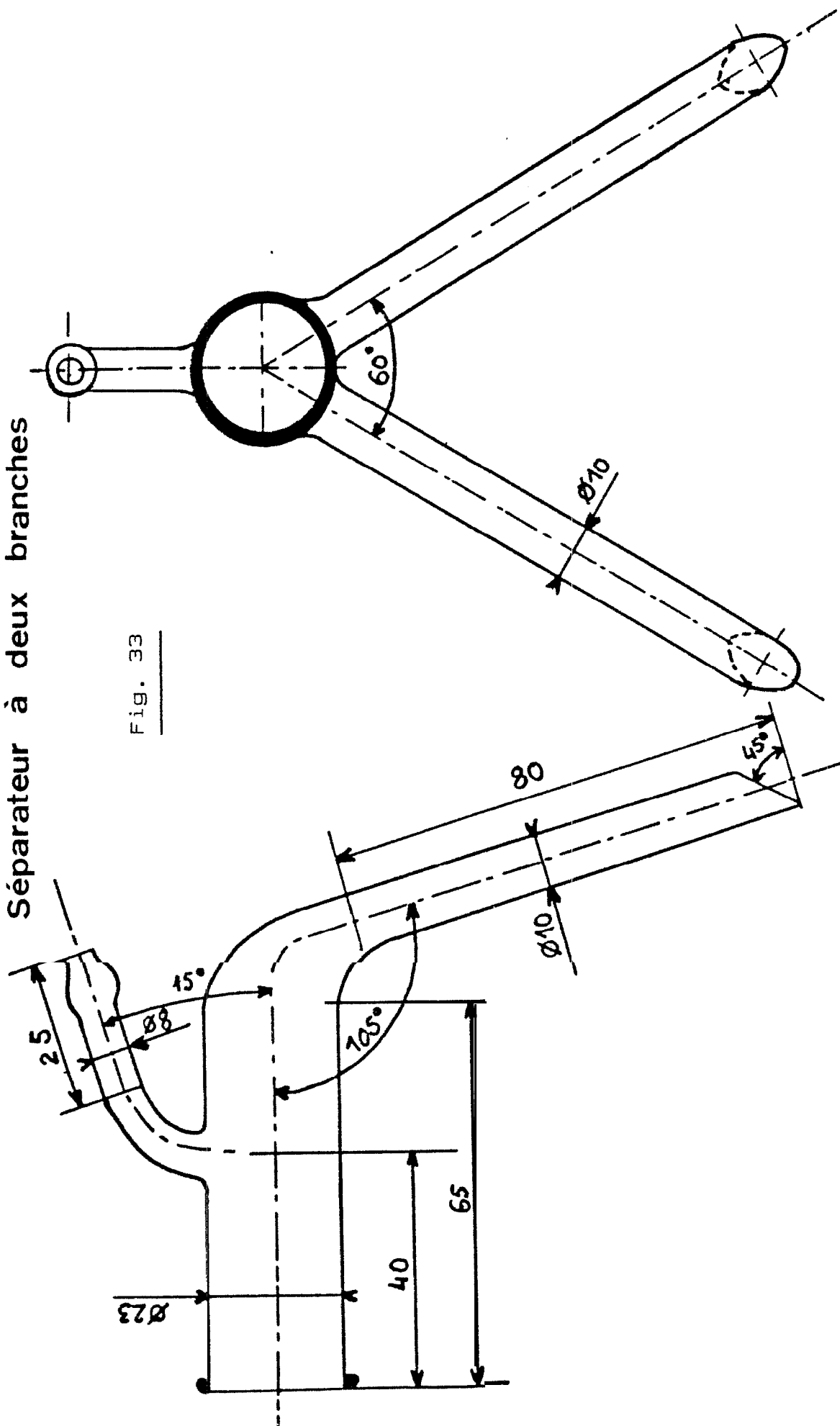
Réfrigérant

Fig. 32



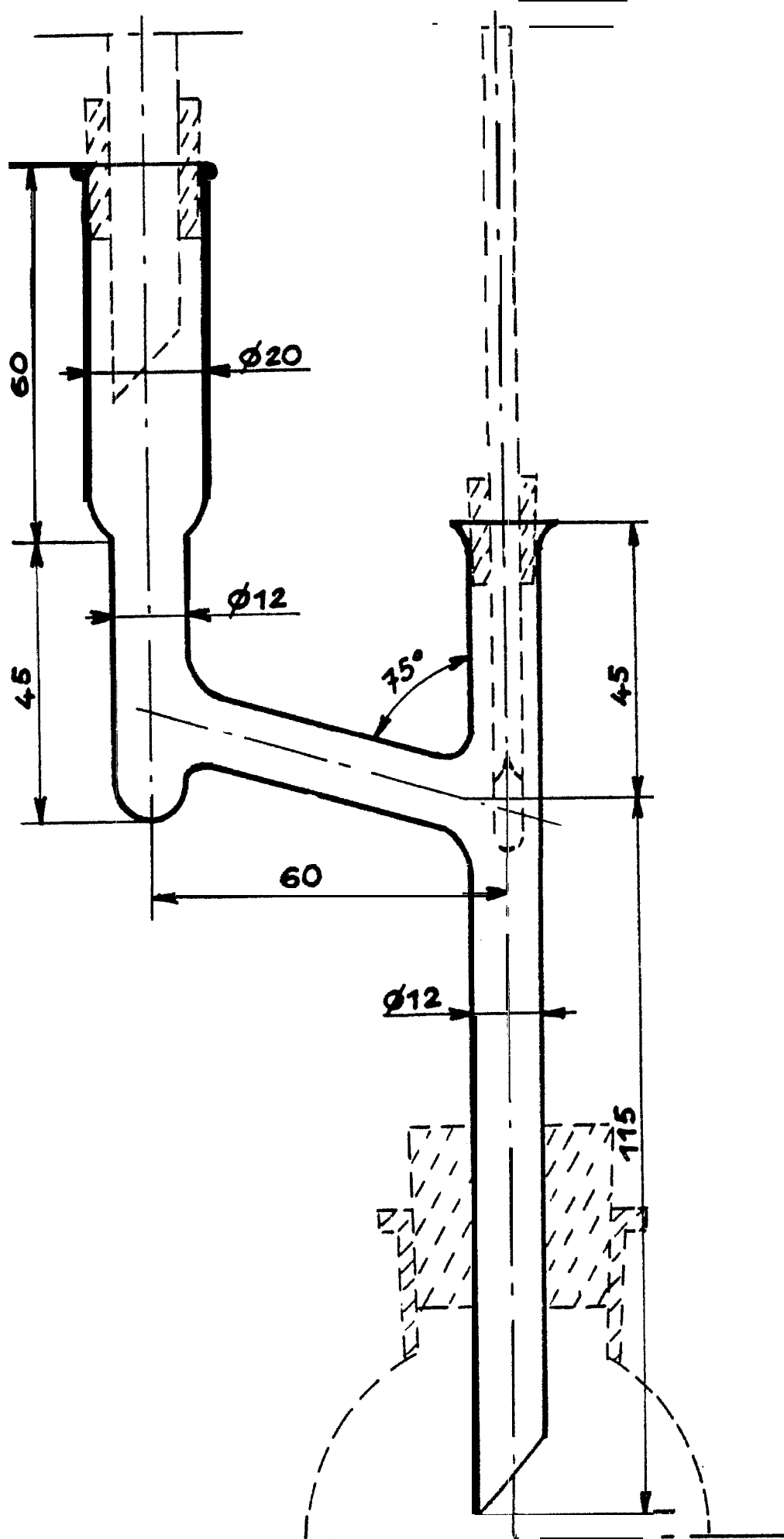
Séparateur à deux branches

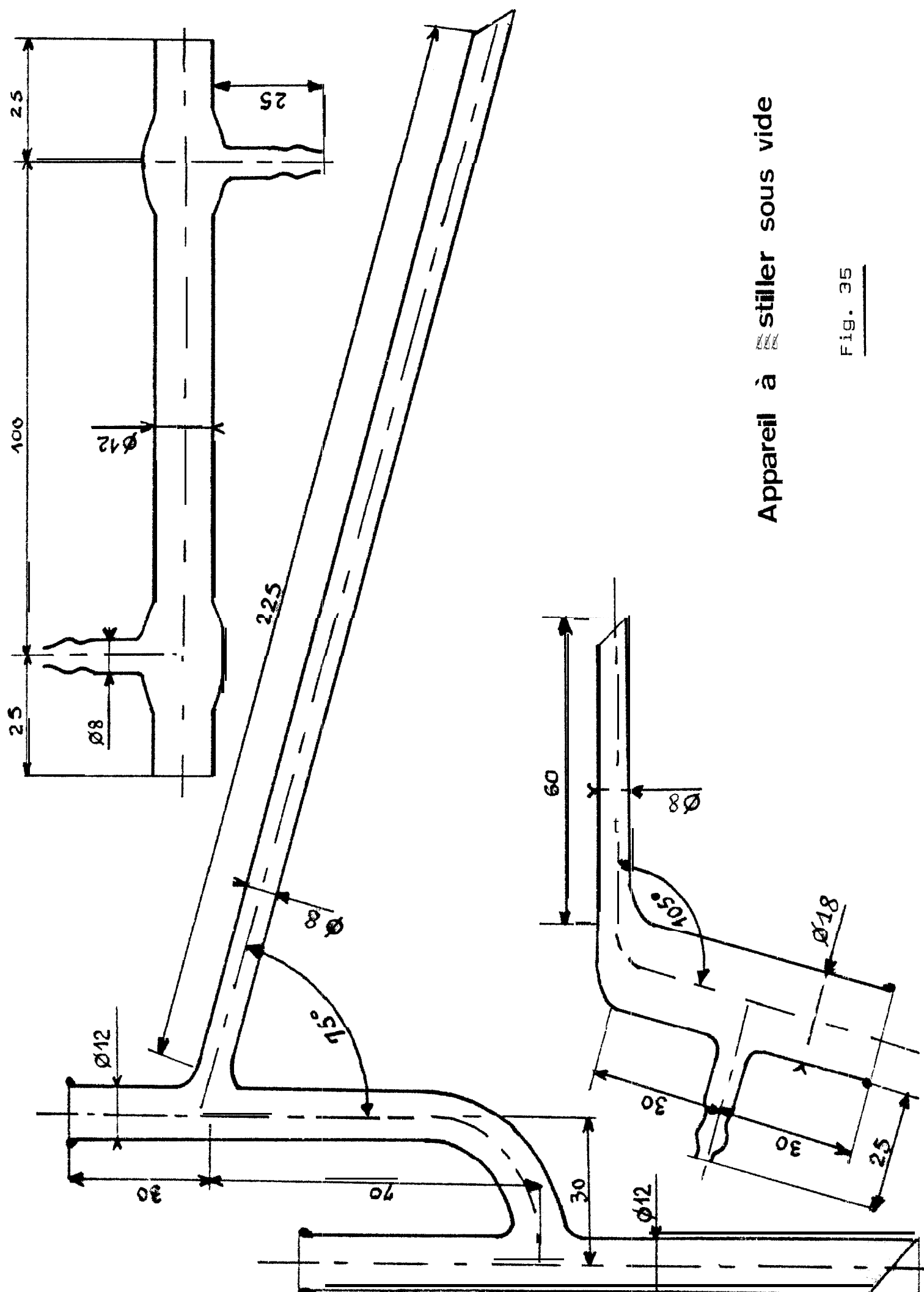
Fig. 33



Colonne

Fig. 34

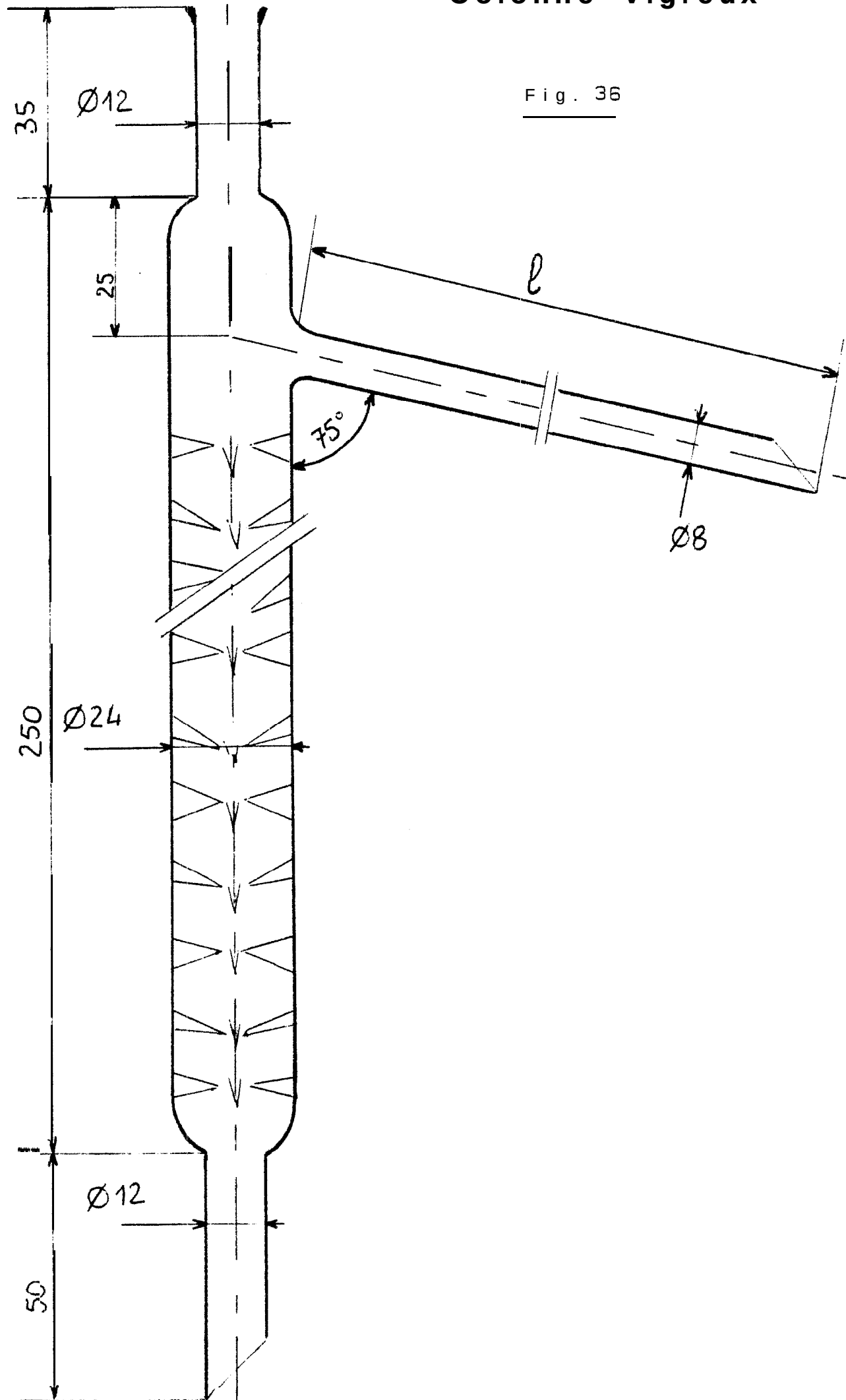




Appareil à ~~stiller~~ stiller sous vide

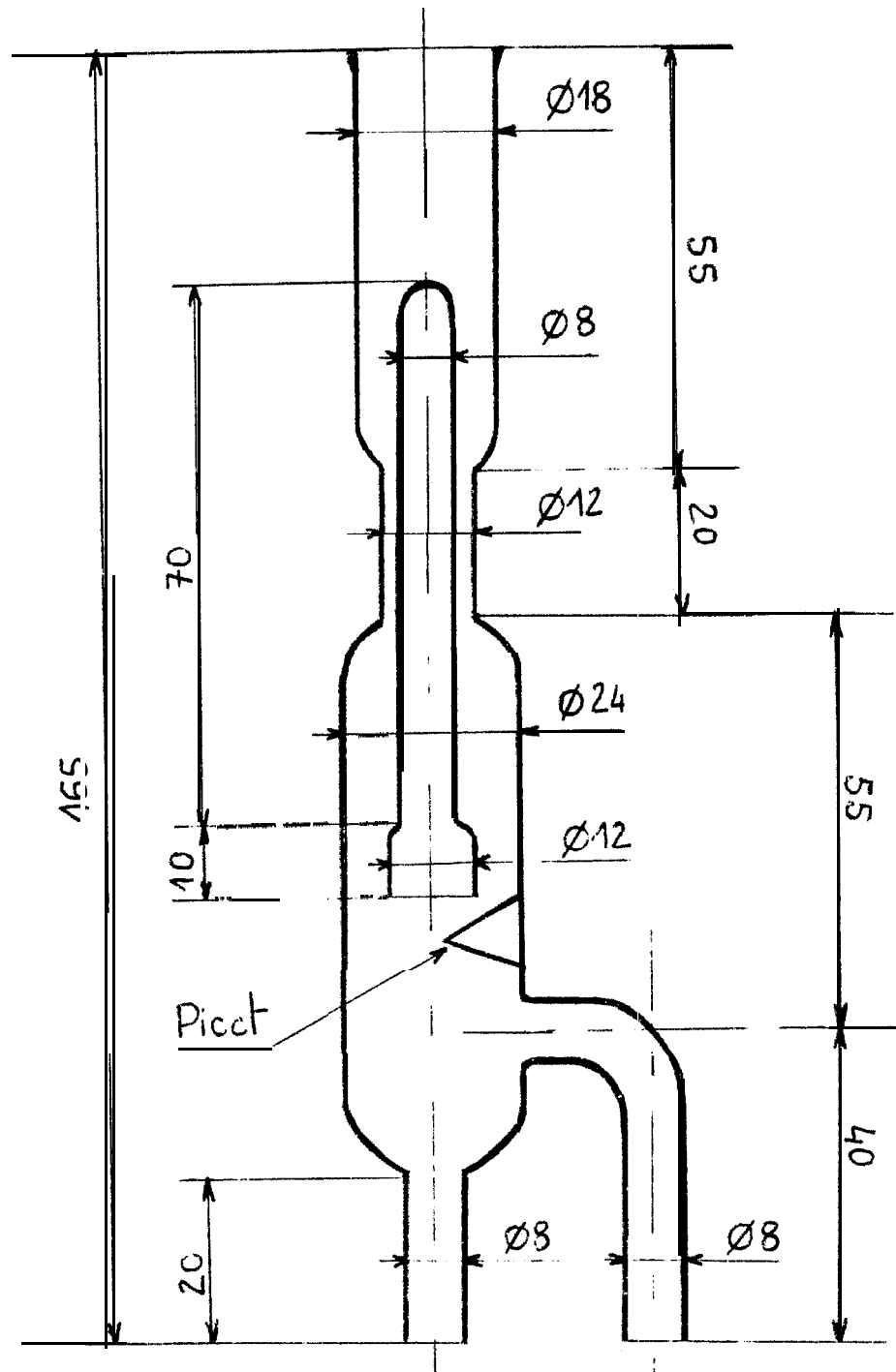
1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100
 101
 102
 103
 104
 105
 106
 107
 108
 109
 110
 111
 112
 113
 114
 115
 116
 117
 118
 119
 120
 121
 122
 123
 124
 125
 126
 127
 128
 129
 130
 131
 132
 133
 134
 135
 136
 137
 138
 139
 140
 141
 142
 143
 144
 145
 146
 147
 148
 149
 150
 151
 152
 153
 154
 155
 156
 157
 158
 159
 160
 161
 162
 163
 164
 165
 166
 167
 168
 169
 170
 171
 172
 173
 174
 175
 176
 177
 178
 179
 180
 181
 182
 183
 184
 185
 186
 187
 188
 189
 190
 191
 192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200
 201
 202
 203
 204
 205
 206
 207
 208
 209
 210
 211
 212
 213
 214
 215
 216
 217
 218
 219
 220
 221
 222
 223
 224
 225
 226
 227
 228
 229
 230
 231
 232
 233
 234
 235
 236
 237
 238
 239
 240
 241
 242
 243
 244
 245
 246
 247
 248
 249
 250
 251
 252
 253
 254
 255
 256
 257
 258
 259
 260
 261
 262
 263
 264
 265
 266
 267
 268
 269
 270
 271
 272
 273
 274
 275
 276
 277
 278
 279
 280
 281
 282
 283
 284
 285
 286
 287
 288
 289
 290
 291
 292
 293
 294
 295
 296
 297
 298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316
 317
 318
 319
 320
 321
 322
 323
 324
 325
 326
 327
 328
 329
 330
 331
 332
 333
 334
 335
 336
 337
 338
 339
 340
 341
 342
 343
 344
 345
 346
 347
 348
 349
 350
 351
 352
 353
 354
 355
 356
 357
 358
 359
 360
 361
 362
 363
 364
 365
 366
 367
 368
 369
 370
 371
 372
 373
 374
 375
 376
 377
 378
 379
 380
 381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390
 391
 392
 393
 394
 395
 396
 397
 398
 399
 400
 401
 402
 403
 404
 405
 406
 407
 408
 409
 410
 411
 412
 413
 414
 415
 416
 417
 418
 419
 420
 421
 422
 423
 424
 425
 426
 427
 428
 429
 430
 431
 432
 433
 434
 435
 436
 437
 438
 439
 440
 441
 442
 443
 444
 445
 446
 447
 448
 449
 450
 451
 452
 453
 454
 455
 456
 457
 458
 459
 460
 461
 462
 463
 464
 465
 466
 467
 468
 469
 470
 471
 472
 473
 474
 475
 476
 477
 478
 479
 480
 481
 482
 483
 484
 485
 486
 487
 488
 489
 490
 491
 492
 493
 494
 495
 496
 497
 498
 499
 500
 501
 502
 503
 504
 505
 506
 507
 508
 509
 510
 511
 512
 513
 514
 515
 516
 517
 518
 519
 520
 521
 522
 523
 524
 525

Fig. 36



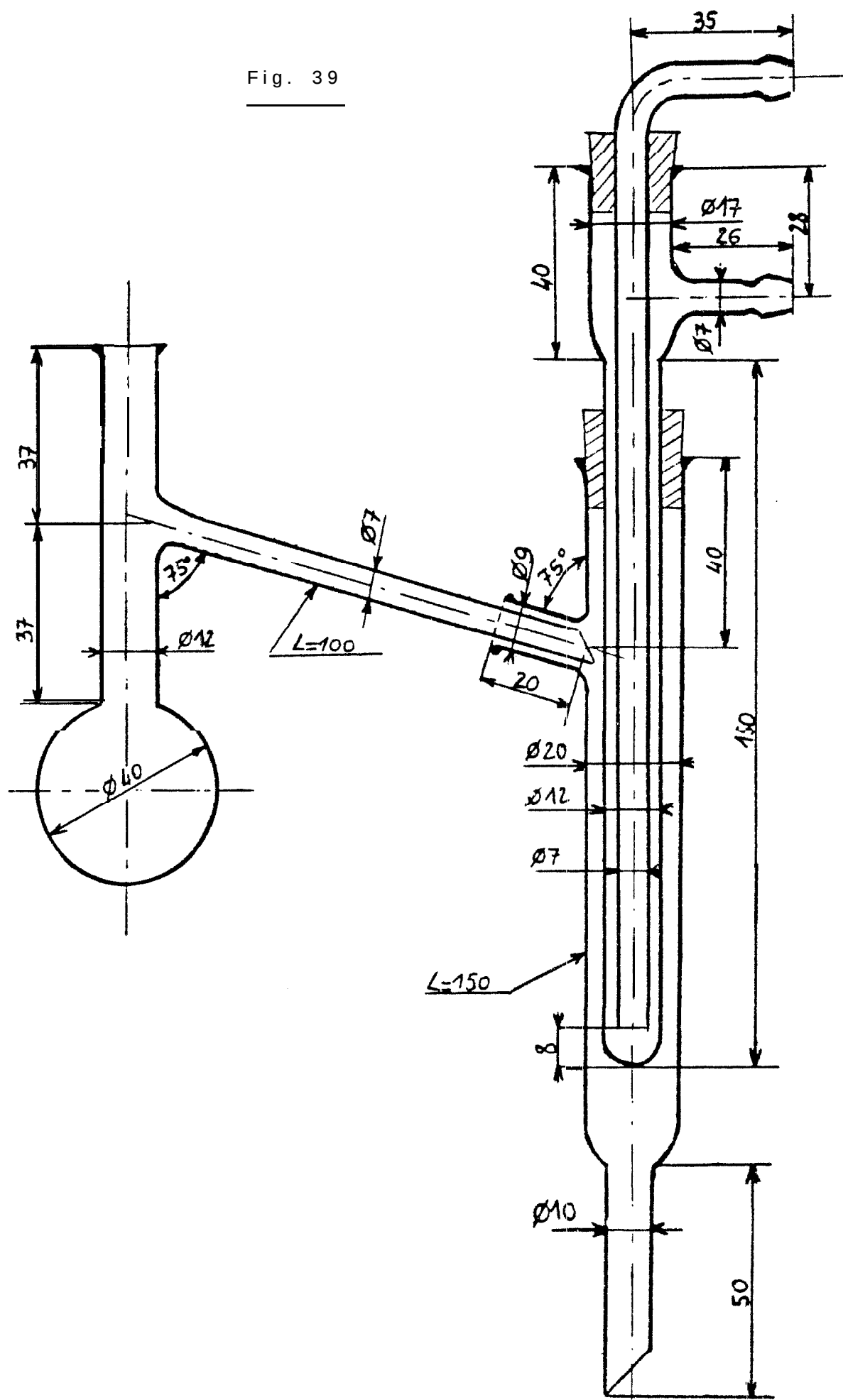
Clapet anti - retour

Fig. 38



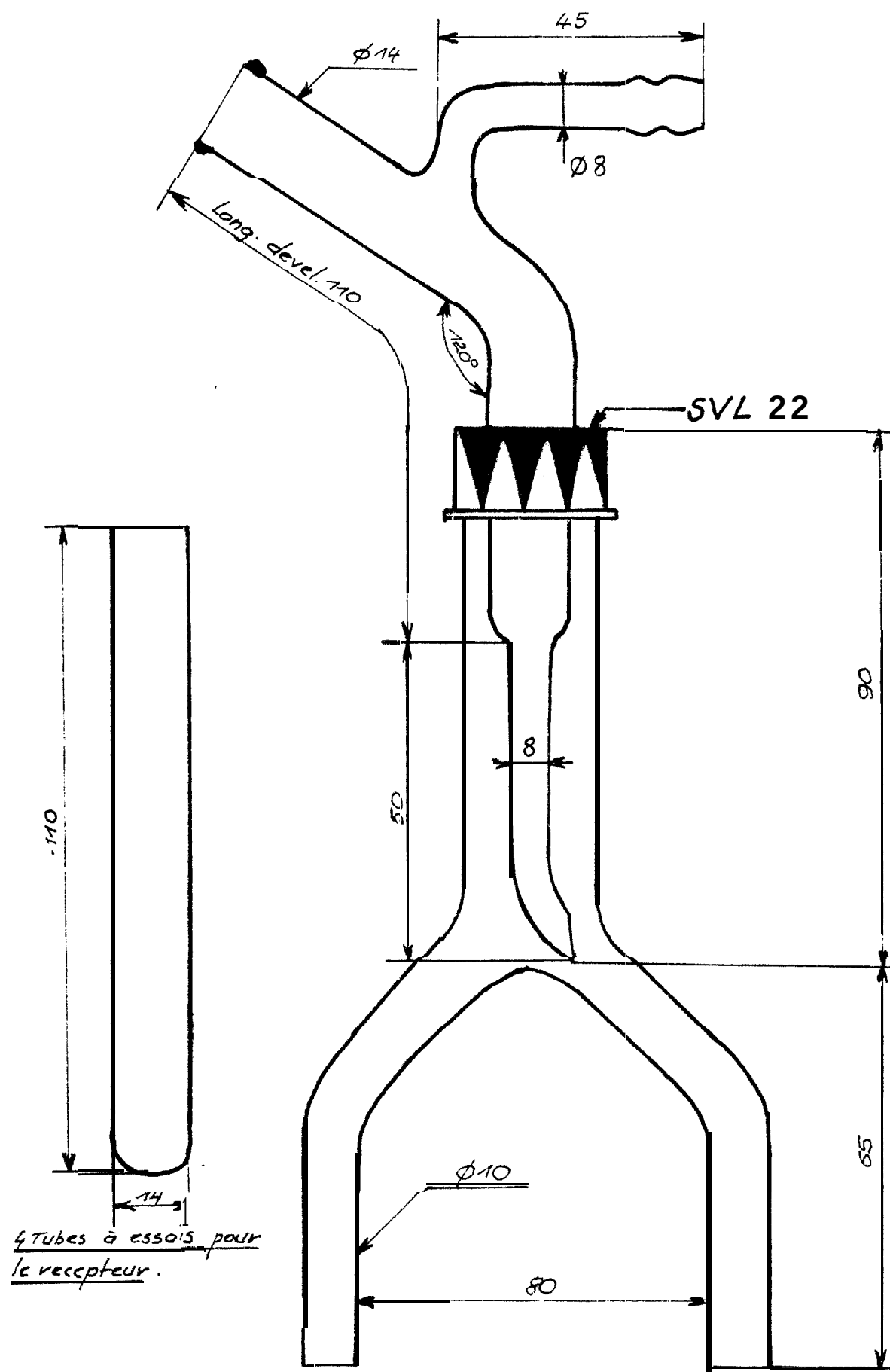
Semi - micro distillation

Fig. 39



Collecteur de fractions

Fig. 40



Débitmètre

Fig. 41

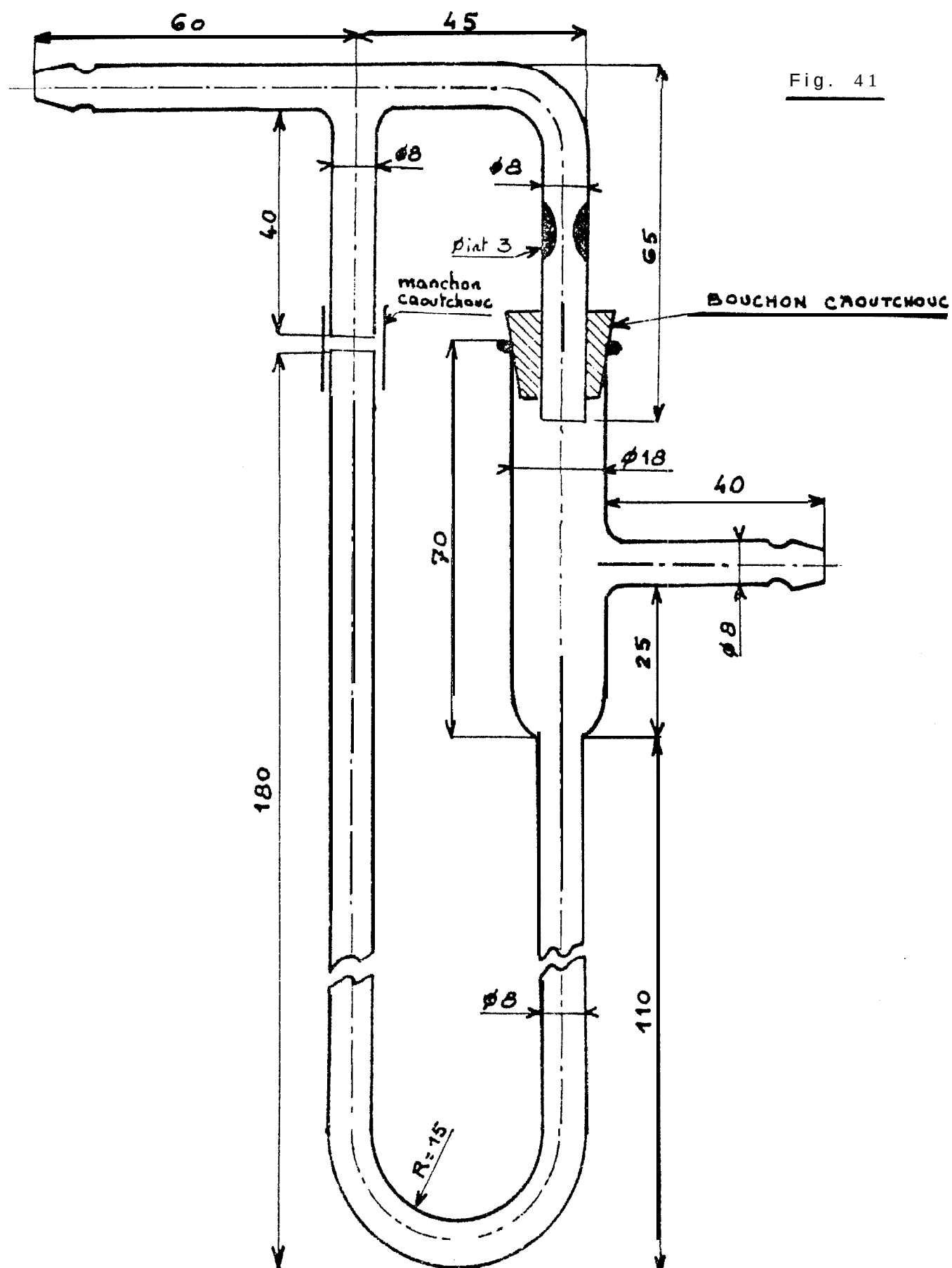


Fig. 43

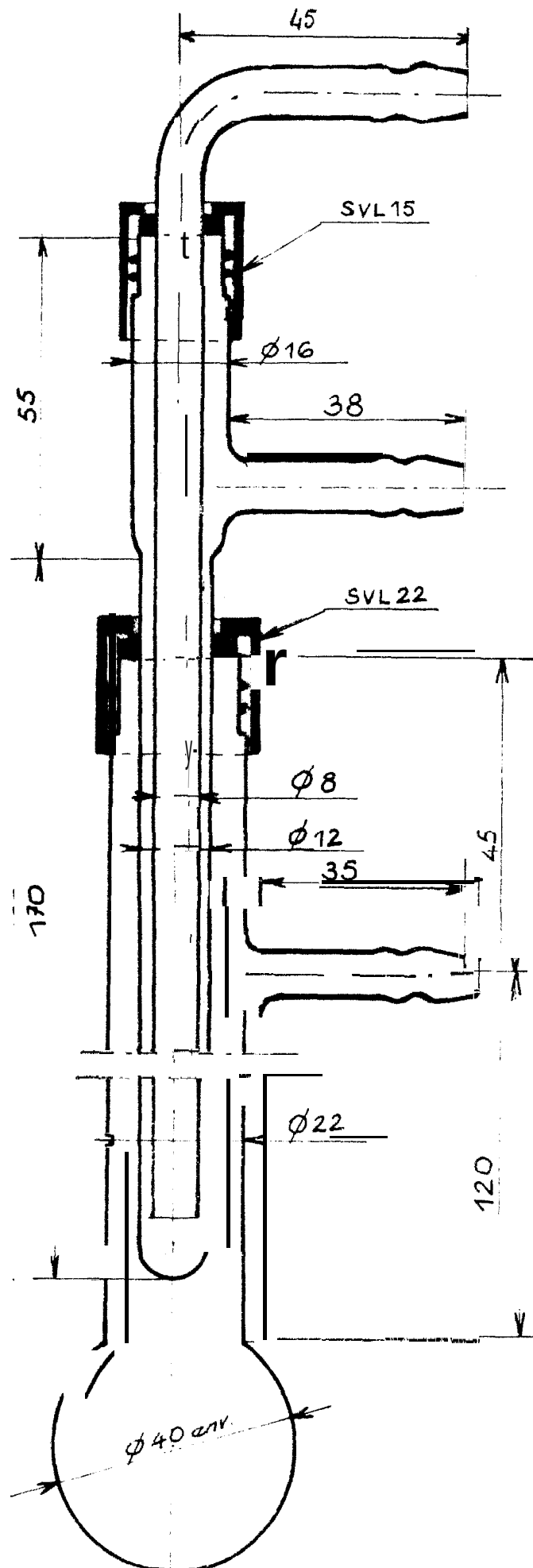
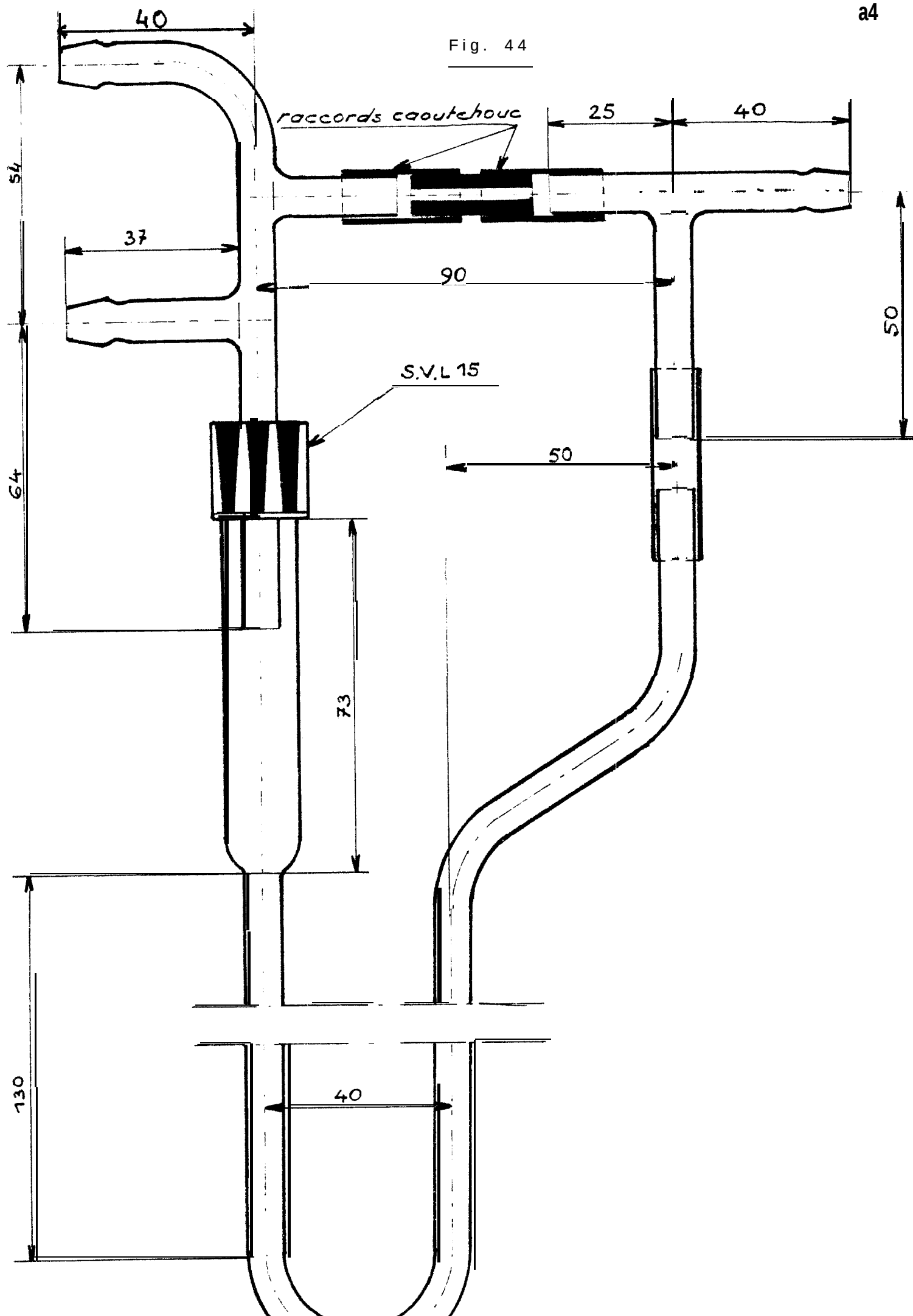


Fig. 44



[illegible]

Fig. 46

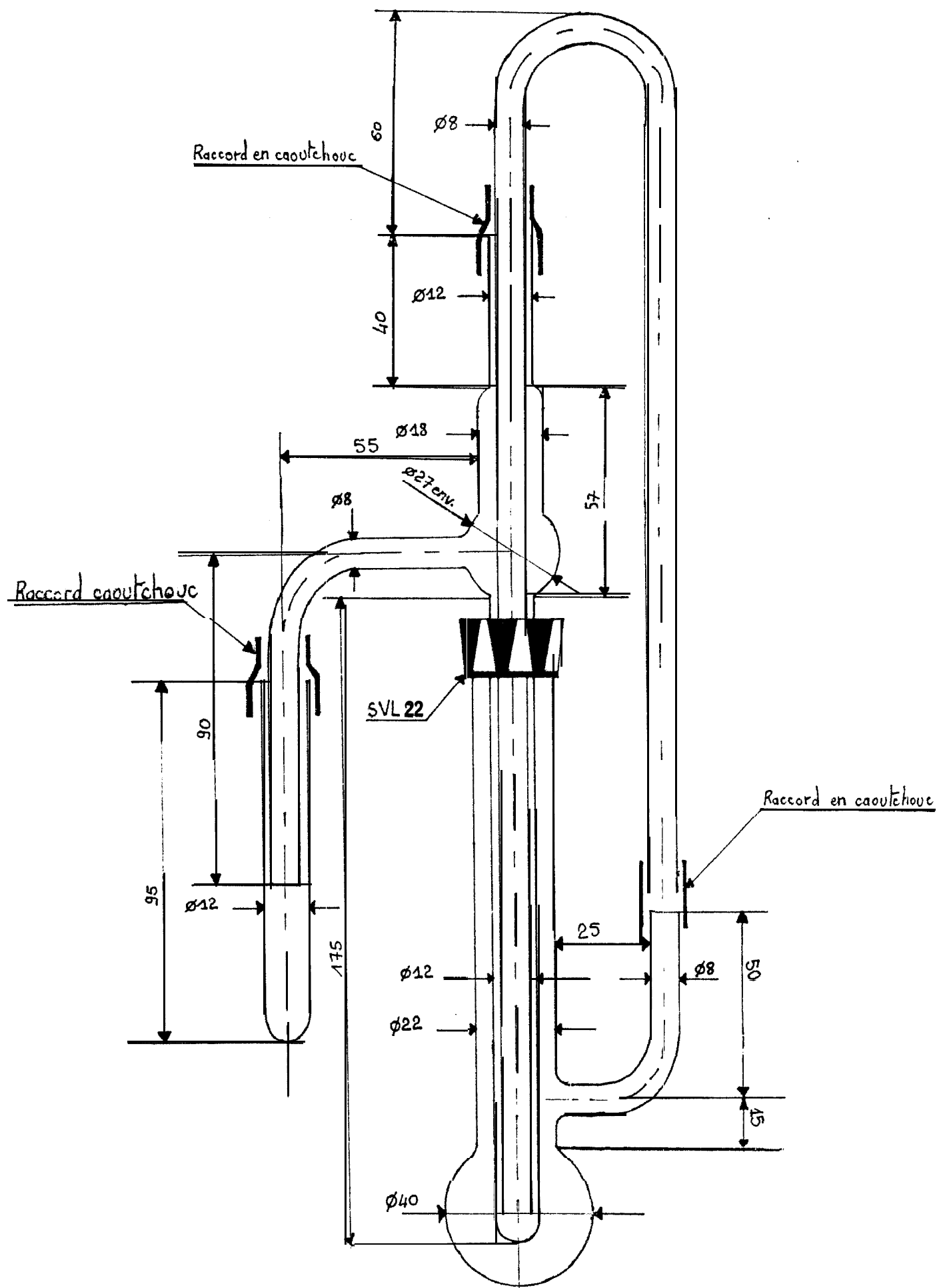


Fig. 47

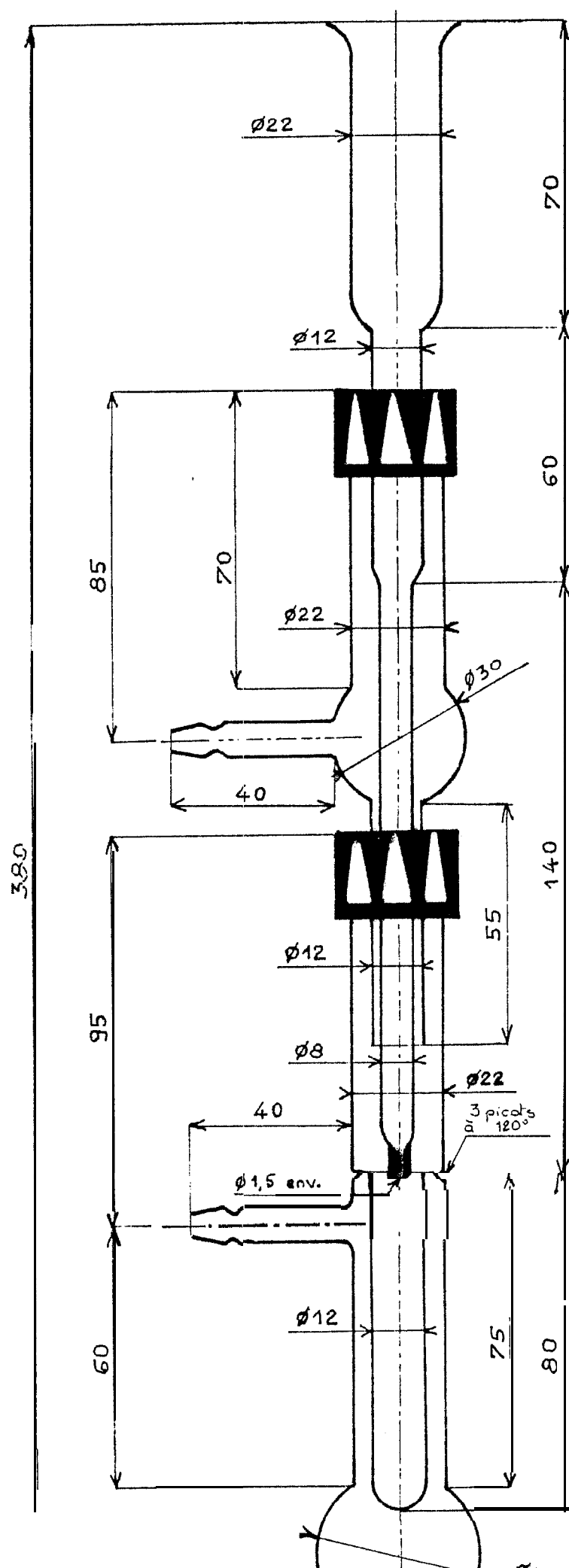


Fig. 48

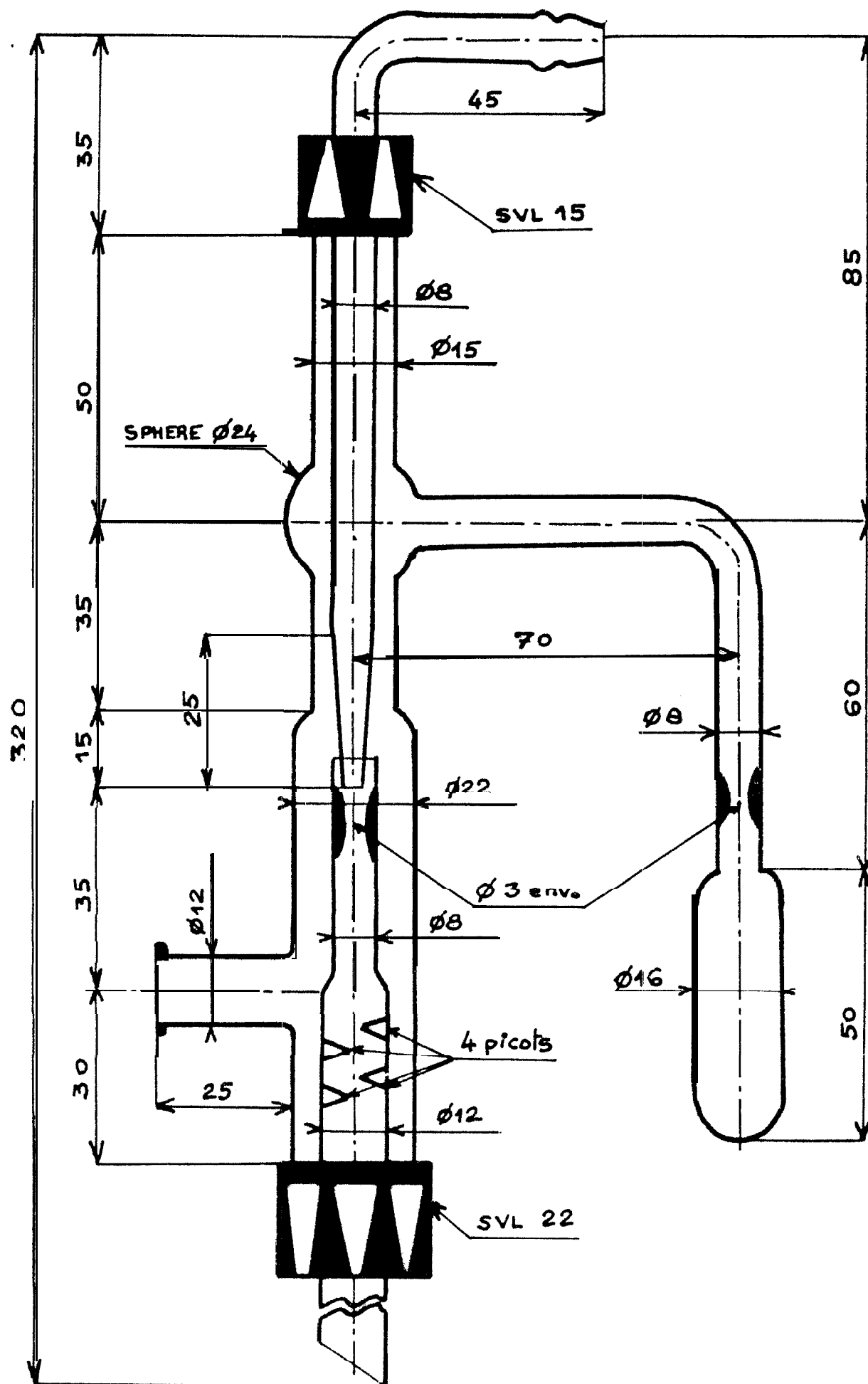
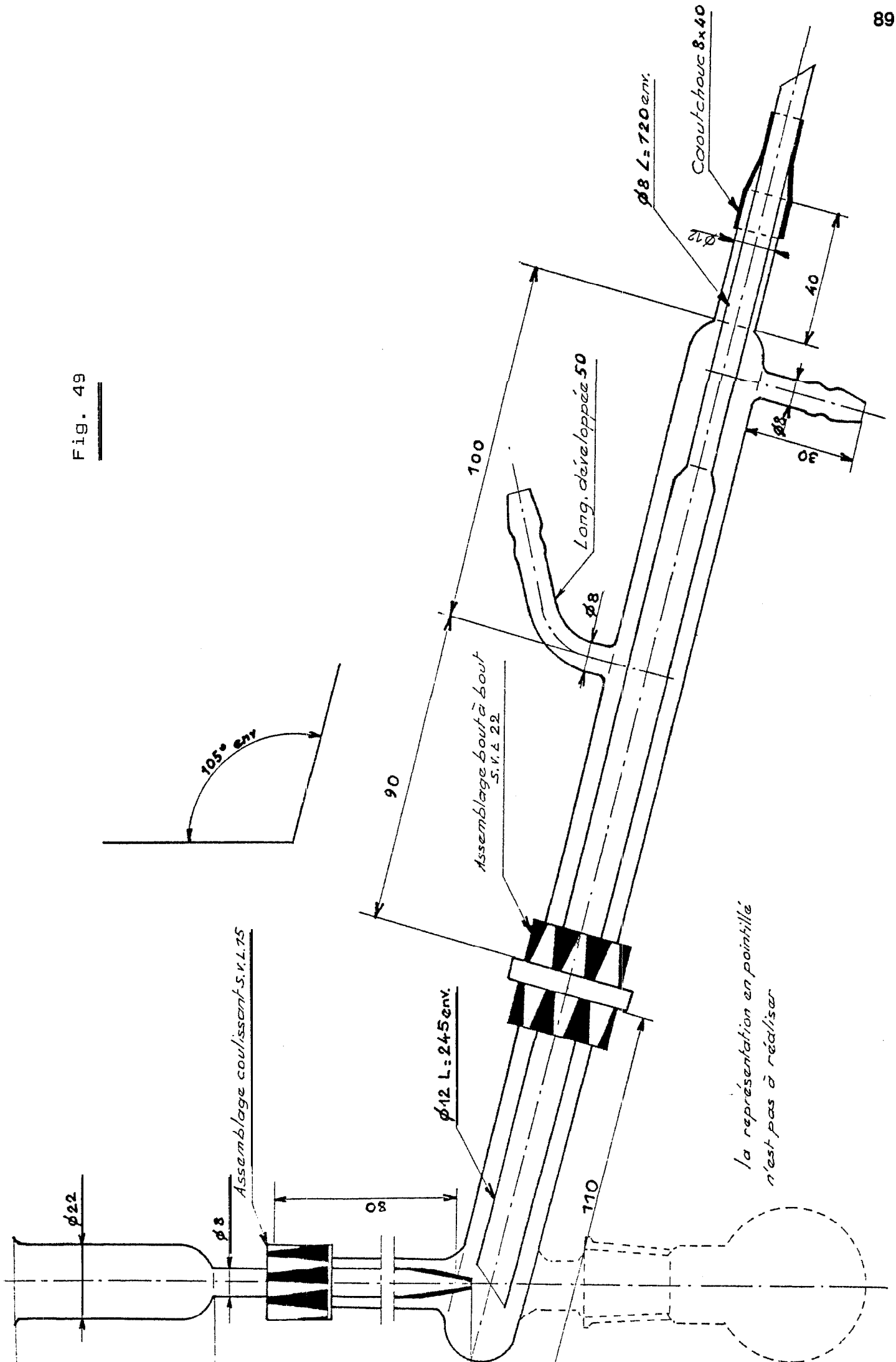


Fig. 49



CONCLUSION

Aujourd'hui, beaucoup de chimistes, de physiciens, de biochimistes, de biologistes, doivent être en mesure de confectionner, de réparer, de modifier des appareils en Verre qu'ils utilisent.

Nous avons essayé, lors de ce stage, de **concilier** les exigences d'une formation efficace avec la **nécessité** de mieux connaître le Verre : il est utile, pour espérer réaliser avec succès des objets en Verre, de comprendre à travers sa structure, ses propriétés, la **"vie intime"** de ce merveilleux matériau.

Sans vouloir faire oeuvre didactique nous ~~avons~~ rédigé ce document sous une forme condensée. Ce que notre stage à **" l'Atelier de Verre "** de Saint-Maur-des-Fossés nous a permis d'acquérir figure dans cet ouvrage, afin d'apporter une aide appréciable dans le travail quotidien des personnels de laboratoire. Il est à noter qu'une **initiation** au travail du Verre a été introduite dans certains programmes de l'enseignement **technique** en France, afin d'initier les futurs techniciens.

Nous souhaitons que de nombreux employés des laboratoires **s'inspirent** de notre démarche et qu'ils contribuent ainsi au développement **du** travail du Verre dans notre pays. Il serait souhaitable, pour permettre cet essor, d'envisager l'installation d'un atelier de Verre équipé à la dimension de nos laboratoires et de nos besoins.

C'est dans ce but; que nous avons rédigé ce mémoire, montrant ainsi que la voie choisie par les autorités compétentes au Sénégal de développer cette discipline, est un choix judicieux,

DIFFUSION DU MEMOIRE

A PARIS :

- Département de Mesures Physiques de l'I.U.T. de Créteil.
- " L' Atelier de Verre " de Saint-Maur-des-Fosses.
- Service de Gestion des Etudiants Sénégalais à l' Etranger,
- Maître de stage : Mr PHILIPPEAU Patrick.

AU SENEGAL :

- Ministère de la Recherche Scientifique et Technique.
- Ministère de l' Enseignement Supérieur.
- Direction Générale de l' I.S.R.A.
- Département Appui aux Services de Recherches de l' I.S.R.A.
- Direction du C.N.R.A. de Bambey.
- Laboratoire Central d' Analyses du C.N.R.A.
- Service de Documentations et d' Informations du C.N.R.A.
- Personnel SR/Solab - C.N.R.A. de Bambey.