



**ETUDE DE L'USINAGE DE BARREUX DE CARBURE D'URANIUM**  
**OBTENUS PAR COULEE CONTINUE**  
**SOUS BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE**

par

Pierre ROUSSET , André ACCARY

**Rapport C E A - R 2733**

CEA-R 2733 - ROUSSET Pierre, ACCARY André

ETUDE DE L'USINAGE DE BARREUX DE CARBURE D'URANIUM OBTENUS PAR  
COULEE CONTINUE SOUS BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE

Sommaire. - Les auteurs envisagent les différentes méthodes d'usinage du monocarbure d'uranium et se livrent à une étude critique de celles-ci, dans le cas de leur application à l'usinage de barreaux de carbure d'uranium obtenus par fusion sous bombardement électronique et coulée continue.

Cette étude les conduit à proposer deux méthodes d'usinage mécanique : la rectification cylindrique et la rectification "centerless", précédée d'un ébauchage par carottage, la seconde paraissant la plus appropriée.

L'étude des rendements d'usinage en fonction du diamètre des barreaux bruts et du diamètre des barreaux finis, a mis en évidence une valeur optimale du diamètre des barreaux bruts pour chaque valeur du diamètre des barreaux usinés. Elle a montré que le rendement croît lorsque le diamètre croît lui-même, ce rendement passant d'environ 45 pour cent à environ 70 pour cent, lorsque le diamètre des barreaux bruts passe de 25-26 mm à 37-38 mm.

1965

39 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

---

CEA-R 2733 - ROUSSET Pierre, ACCARY André

STUDY OF THE MACHINING OF URANIUM CARBIDE RODS OBTAINED BY  
CONTINUOUS CASTING UNDER ELECTRONIC BOMBARDEMENT

Summary. - The authors consider the various methods of machining uranium mono-carbide and compare them critically in the case of their application to uranium carbide obtained by fusion under an electronic bombardment and continuous casting.

This study leads them to propose two mechanical machining methods : cylindrical rectification and centerless rectification, preceded by a preliminary roughing out of a cylinder, the latter appearing more suitable.

A study of the machining yields as a function of the diameter of the rough bars and of the diameter of the finished rods has shown that an optimum value of the rough bar diameter exists for each value of the finished rod diameter. It is found that the yield increases as the diameter itself increases, this yield rising from 45 per cent to around 70 per cent as the diameter of the rough bars increases from 25-26 mm to 37-38 mm.

1965

39 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

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

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

- Rapport CEA-R 2733 -

Département de Métallurgie  
Service de Chimie des Solides  
Section de Métallurgie des Combustibles Réfractaires

ETUDE DE L'USINAGE DE BARREAUX DE CARBURE D'URANIUM  
OBTENUS PAR COULEE CONTINUE  
SOUS BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE

par

Pierre ROUSSET et André ACCARY

- Juillet 1965 -

## TABLE DES MATIERES

	Page
<b>I - EXAMEN DES DIFFERENTES TECHNIQUES POSSIBLES D'USINAGE POUR LES ALLIAGES URANIUM-CARBONE</b>	<b>2</b>
1° - Conditions imposées par les propriétés physico-chimiques et mécaniques	2
a) Caractéristiques du matériau à usiner : fragilité-corrodabilité	2
b) Liquides d'usinage utilisés	2
2° - Techniques d'usinage envisagées et leurs possibilités d'emploi	3
a) Carottage au foret-couronne	3
b) La rectification sur machine "centerless"	4
c) La rectification cylindrique extérieure	5
d) Usinage par électroérosion	6
e) Usinage par ultra-sons	7
f) Techniques annexes	8
g) Choix de la méthode utilisée : la rectification cylindrique	8
<b>II - TECHNIQUE OPERATOIRE EN RECTIFICATION CYLINDRIQUE</b>	<b>9</b>
1° - Différentes phases de l'opération	9
2° - Caractéristiques et conditions d'utilisation des meules	10
3° - Les pertes par usinage et leur récupération	11
<b>III - CALCUL DU RENDEMENT USINAGE EN RECTIFICATION CYLINDRIQUE</b>	<b>12</b>
1° - Définition des rendements envisagés	12
2° - Méthode de calcul des rendements	12
a) Détermination du rendement global $R_o$	12
b) Détermination du rendement en longueur donnée $R_L$	13

	<b>Page</b>
<b>IV - RESULTATS OBTENUS ET DISCUSSION DES COURBES DE RENDEMENT</b>	<b>13</b>
1° - Cas du rendement global $R_o$	13
2° - Cas du rendement en longueur donnée $R_L$	14
3° - Conclusions	14
<b>V - CONCLUSION GENERALE</b>	<b>15</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>16</b>
<b>TABLEAU I</b>	<b>18</b>
<b>TABLEAU II</b>	<b>19</b>
<b>TABLEAU III</b>	<b>20</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>21</b>

# **ETUDE DE L'USINAGE DE BARREAUX DE CARBURE D'URANIUM OBTENUS PAR COULEE CONTINUE SOUS BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE**

## **INTRODUCTION**

La mise en forme du monocarbure d'uranium <sup>1)</sup> par fusion et coulée continue, permet d'obtenir industriellement des barreaux de longueur importante (supérieure à 30 cm) [1], caractérisés par une surface présentant des aspérités et dont la section n'est pas toujours parfaitement circulaire (figure 1). Pour utiliser ces barreaux dans un réacteur, il est nécessaire d'améliorer leur état de surface et de les amener à la cote désirée ; pour ceci, une méthode consiste à éliminer par usinage une couche superficielle d'épaisseur supérieure à la profondeur des défauts.

Le présent rapport décrit les méthodes envisageables pour un tel usinage, et en compare les avantages et les inconvénients.

Enfin, dans le cas de l'utilisation de l'une de ces méthodes - la rectification cylindrique - il étudie les rendements d'usinage que l'on peut espérer, si l'on se fixe, soit le diamètre final des barreaux, soit leur diamètre et leur longueur. Dans ce but, les auteurs essayent de caractériser les conditions optimales d'usinage. De ce fait, l'exposé de cette étude comportera les parties suivantes :

---

1) Dans la suite du texte, les auteurs désignent par "monocarbure d'uranium", un alliage U-C de composition voisine de celle du monocarbure.

## I - EXAMEN DES DIFFERENTES TECHNIQUES POSSIBLES D'USINAGE POUR LES ALLIAGES URANIUM-CARBONE.

### 1° - Conditions imposées par les propriétés physico-chimiques et mécaniques.

#### a) Caractéristiques du matériau à usiner : fragilité - corrodabilité.

L'usinage des alliages uranium-carbone soulève un certain nombre de problèmes liés essentiellement aux caractéristiques physico-chimiques de ces matériaux. Les principales de ces caractéristiques sont la réactivité chimique et la corrodabilité du monocarbure, à l'air et en présence d'eau [2], [3], [4], [5], ainsi que la fragilité mécanique.

Ces alliages sont d'autant plus fragiles qu'ils présentent une structure à grains plus gros. Leur usinage par abrasion produit des arrachements par clivage. De plus, on constate que cette abrasion crée une zone corticale perturbée à la surface extérieure des barreaux et donne naissance à des microfissures dont la propagation s'effectue suivant les plans (100) des grains du monocarbure (figure 2). Ces microfissures sont éliminées en grande partie par une finition douce, effectuée à l'aide de meules à liant résinoïde (figure 3), dont il sera parlé aux paragraphes I-2-c et II-2.

#### b) Liquides d'usinage utilisés.

Le monocarbure d'uranium étant pyrophorique à l'état divisé et réagissant avec l'eau, même à la température ambiante, nécessite un liquide d'arrosage répondant aux conditions suivantes [6], [7], [8] :

- il doit assurer un bon refroidissement au contact pièce-meule,
- il doit avoir un point d'inflammabilité suffisamment élevé,
- il doit être chimiquement neutre et parfaitement anhydre, afin de protéger le matériau usiné, de la corrosion aqueuse.

Les huiles dites "solubles", qui contiennent une proportion d'eau importante, sont à proscrire bien qu'assurant un très bon refroidissement. Les huiles "spéciales de coupe", comportant en général des additifs chlorés ou soufrés, sont à proscrire à cause de leur action corrosive vis-à-vis du monocarbure.

Le liquide d'usinage sélectionné après différents essais, est une huile minérale pure du type vaseline. Son point d'inflammabilité assez élevé (150 à 160°C environ) se révèle suffisant pour permettre des usinages dans les conditions les plus sévères. Dans ce type, entrent les huiles pour transformateur, particulièrement purifiées et anhydres ; elles conviennent parfaitement à cette application<sup>2)</sup>. Il faut cependant choisir la viscosité la plus faible pour assurer le meilleur refroidissement possible et faciliter la décantation des boues.

Pour les carottages et les perçages délicats de très petits diamètres (inférieurs à 3 mm)<sup>3)</sup>, il est possible également d'utiliser le kérosène pur, dont la viscosité est beaucoup

---

2) L'huile utilisée dans la présente étude, est une huile de transformateur Esso-Standard (Référence TR 10 WS)



plus faible que celle des huiles citées plus haut. Les forets-couronnes utilisés dans ce dernier cas sont très fragiles et nécessitent une parfaite lubrification, sous une pression d'environ 1 à 2 kg/cm<sup>2</sup>. Le kérosène est, d'autre part, le liquide le plus couramment employé comme diélectrique pour l'usinage par électroérosion (kérosène dit de "qualité étincelage").

## 2° - Techniques d'usinage envisagées et leurs possibilités d'emploi.

Nous passerons ici en revue les différentes techniques d'usinage possibles du monocarbure d'uranium que nous avons expérimentées sur ce matériau, et nous examinerons leurs possibilités respectives, particulièrement en ce qui concerne les vitesses d'usinage.

### a) Carottage au foret-couronne.

#### Technique générale du carottage.

Cette technique couramment utilisée pour le travail des métaux durs et des céramiques, fait appel à des forets-couronnes diamantés tournant à grande vitesse (environ 2 m/s de vitesse tangentielle)<sup>4)</sup> ; ces forets creux sont montés sur des perceuses à arrosage central permettant ainsi un arrosage sous pression indispensable à un bon refroidissement et à l'évacuation des produits d'abrasion.

Les vitesses d'usinage peuvent être élevées, mais un certain nombre de facteurs limitent l'emploi du carottage dans le cas présent, à savoir :

A - Il existe un rapport critique entre la longueur et le diamètre des cylindres que l'on peut obtenir en carbure, c'est-à-dire que la longueur usinable est d'autant plus faible que le diamètre est plus petit, ceci à cause des vibrations mécaniques dangereuses et de la fragilité du matériau. Les figures 4 à 6 montrent quelques exemples de forets et de pièces usinées par cette méthode.

B - D'autre part, l'état de surface obtenu n'est pas toujours satisfaisant et les tolérances sont peu précises. Celles-ci dépendent des forets et de leurs spécifications ainsi que des conditions d'utilisation. Les tolérances sont d'autant plus serrées que la grosseur des grains de la concrétion diamantée est plus faible. En pratique, on réalise un compromis, car la vitesse de coupe décroît sensiblement avec la grosseur des grains, tandis que l'usure des forets augmente.

Le tableau I donne les caractéristiques concernant les forets-couronnes utilisés et leurs conditions optimales d'emploi, déterminées dans le cas des alliages uranium-carbone.

C - Si l'on désire des tolérances serrées, telles que 1/100 mm et un bon état de surface, il est nécessaire de procéder à une rectification finale dont la technique sera décrite plus loin (paragraphes I-2-b et I-2-c). Cette finition permet également d'éliminer la couche perturbée en surface par le carottage. La micrographie de la figure 7, en coupe longitudinale, montre la rugosité importante de la surface, ainsi que la présence de microfissures et d'arrachements sur la zone corticale de cylindres obtenus par simple carottage.

---

4) Appelée aussi "vitesse linéaire".

D - Une dernière limite d'emploi des forets diamantés concerne la teneur en carbone du matériau usiné : au-dessous d'une teneur d'environ 2,5 p.100 C en poids, la proportion d'uranium (phase plastique) devient trop importante - 40 p.100 d'uranium en volume - par rapport à celle du monocarbure (phase dure) pour que l'alliage soit usinable au diamant : leur usinage relève alors des techniques plus classiques ou de l'électroérosion (voir paragraphe I-2-d).

Cette restriction est d'ailleurs valable pour les autres méthodes d'usinage par simple abrasion (rectification cylindrique et en "centerless").

#### Méthode d'ébauche par forets-couronnes.

Il est possible d'envisager l'ébauche rapide de barreaux de monocarbure d'uranium fondus sous bombardement électronique, à l'aide de forets-couronnes de grande longueur (environ 200 mm). Ces forets d'un type spécial, sont guidés extérieurement dans leur descente, tandis qu'un mandrin à mors enveloppants, maintient les barreaux bruts sur leur longueur, ces deux conditions permettant d'éliminer les vibrations dangereuses. Le schéma de principe de ce montage est représenté figure 8. Cette méthode comporte les avantages suivants :

- rapidité de l'opération : en une seule "passe", sans effectuer de centrage préalable aux extrémités, il est possible d'amener les barreaux bruts de fusion à un diamètre minimum, en vue de la rectification finale. En pratique, on peut ainsi enlever des épaisseurs de "croûte" de 3 à 5 mm au rayon, celle-ci sautant au fur et à mesure ; la rectification finale pouvant alors être réalisée par une des deux méthodes décrites aux paragraphes I-2-b et I-2-c.

- diminution de la proportion des boues d'usinage produites par les méthodes d'usinage par abrasion (meulage) au profit de déchets plus massifs, ceci est intéressant en vue de la récupération de ces déchets, en particulier pour leur manipulation, les boues étant fortement pyrophoriques à l'air après nettoyage et séchage. Ce problème sera discuté plus loin, au paragraphe II-3.

#### b) La rectification sur machine "centerless".

Cette technique bien connue, consiste à faire passer le barreau à usiner entre deux meules, dont les axes sont sensiblement parallèles. Une de ces meules tournant à grande vitesse effectue la rectification, l'autre tournant à vitesse lente entraîne la pièce en rotation sur son axe et la maintient sur le support. Cette méthode présente deux variantes :

1° - L'enfilade, dans laquelle le défilement de la pièce entre les meules est obtenu grâce à l'inclinaison de la meule d'entraînement par rapport à la meule de travail et au support.

2° - La plongée, dans laquelle la pièce tourne sur elle-même entre les deux meules, dont les axes sont parallèles.

L'usinage en "centerless" convient parfaitement pour la rectification de lingots de monocarbure d'uranium<sup>5)</sup> présentant un état de surface régulier, et une forme "cylindrique" et, dans ce cas, il comporte les avantages suivants par rapport aux autres méthodes d'usinage :

---

5) Cette méthode est actuellement utilisée à une échelle industrielle, par la C.I.C.A.F. (Domaine de Corbeville, S.O) pour la rectification du monocarbure d'uranium fondu à l'arc et brut de coulée en moule de graphite.

1 - Obtention d'un meilleur état de surface pour des meules de mêmes spécifications ; en général, un seul type de meule peut suffire pour toute l'opération de rectification (ceci est dû à la grande surface de contact pièce-meule).

2 - Gain de temps, car on évite le centrage et le montage des barreaux, opérations nécessaires en rectification cylindrique, plus ou moins longues et délicates et qui diminuent le rendement en poids (à cause des chutes importantes qu'elles entraînent aux extrémités).

Par contre, dans le cas de barreaux fondus sous bombardement électronique, dont l'état de surface est grossier (figure 1) et la section non parfaitement circulaire, l'usinage direct en "centerless" présente de grandes difficultés. Celles-ci proviennent de la rotation défectueuse et de l'instabilité des barreaux sur le support (réglette ou rouleau), produisant des méplats sur ceux-ci et pouvant provoquer éventuellement l'éclatement des meules.

D'autre part, dans la méthode de la plongée, les profondeurs de passe (environ 1 à 10/100 mm), donc le débit, restent faibles et les longueurs usinables sont limitées, au maximum, à la largeur des meules, ceci quelque soit l'état des barreaux bruts ou déjà ébauchés. Cette méthode n'est, d'ailleurs, en général, utilisée que pour des pièces de révolution non cylindrique ou présentant des épaulements (diamètres variables).

La première méthode citée, dite de "l'enfilade" a, par contre, des possibilités en débit et en longueurs d'usinage bien supérieures, mais en raison des limitations d'emploi de la rectification en "centerless" indiquées plus haut, cette opération nécessite des barreaux ébauchés au moins en partie (c'est-à-dire présentant une surface cylindrique sur environ 50 p. 100 de la surface totale). C'est pourquoi, cette solution est envisagée avantageusement, dans le cas d'une production importante, au stade de la rectification finale, après ébauche rapide par carottage (voir paragraphe I-2-a page 4).

### c) La rectification cylindrique extérieure.

On sait que cette méthode d'usinage par abrasion [9][10] consiste à déplacer parallèlement, et l'une par rapport à l'autre, la meule et la pièce, la première tournant à grande vitesse<sup>6)</sup>, la seconde à vitesse lente. Leurs axes sont situés sensiblement dans le même plan horizontal et sont, en général, parallèles.

La pièce peut être entraînée en rotation et maintenue à une extrémité par un mandrin ou placée "entre-pointes", l'une d'elles comportant un toc d'entraînement en rotation (figure 9).

L'usinage des barreaux fondus sous bombardement électronique peut s'effectuer par simple serrage en mandrin ; il est cependant préférable de les maintenir par une contre-pointe ou de les placer "entre-pointes" (en particulier dans le cas de rapports longueur/diamètre élevés, supérieurs à 10), ceci à cause de la fragilité du monocarbure d'uranium fondu et du meilleur centrage ainsi obtenu. Les débits d'usinage peuvent être importants, en particulier si l'on "rectifie"

---

6) Vitesse maximum compatible avec les normes de sécurité et variable suivant les types de meule.

à l'aide de meules diamant et si l'on dispose d'une puissance de broche suffisante et de meules de grands diamètres.

Il est nécessaire d'opérer l'usinage en deux stades, étant donné la quantité importante de matière à enlever, stades qui consistent :

1 - En une ébauche à grand débit, obtenue à l'aide de meules à gros grains, l'état de surface restant grossier (figure 2) et les cotes peu précises.

2 - En une finition, à l'aide de meules appropriées donnant le fini (figure 3) et les cotes désirées. Ce second stade est également rendu nécessaire, pour les raisons développées au paragraphe I-1-a et concernant la fragilité du matériau. La figure 10 représente quelques pièces usinées d'après cette technique.

Les spécifications et les conditions d'utilisation des meules seront précisées plus loin, au paragraphe II-2 dans lequel est décrite, en détail, la technique opératoire.

#### d) Usinage par électroérosion [11] [12] [13]

Cette technique particulière, appelée également "étincelage", consiste dans l'arrachement de matière qui accompagne les décharges électriques courtes et intenses qui s'effectuent entre deux électrodes, en présence d'un fluide diélectrique. L'enlèvement de matière se produit essentiellement à l'anode, dans certaines conditions, ce qui permet l'usinage des métaux et alliages, conducteurs ou semi-conducteurs, quelle que soit leur dureté et leur mode d'élaboration.

Dans ce procédé, les nombreuses décharges constituent autant "d'outils élémentaires" ; on contrôle le déplacement relatif électrode-pièce et les conditions d'enlèvement de matière (tension entre électrodes, fréquence et énergie des décharges), de façon à ne perturber la structure du matériau usiné qu'au voisinage immédiat du cratère formé par la décharge, pour un état de surface donné.

Ce procédé présente plusieurs avantages dont les principaux sont :

1 - La possibilité d'usiner des métaux et alliages durs et réfractaires difficilement usinables par d'autres méthodes, ceci avec un bon état de surface et des tolérances d'usinage serrées.

2 - La possibilité d'usiner des pièces de forme prismatique quelconque et plus généralement de forme non cylindrique (angles vifs et surfaces planes rentrantes).

Par contre, les vitesses et les débits d'usinage restent faibles, comparativement à celles obtenues par les méthodes mécaniques habituelles, pour des opérations identiques.

Les essais de perçage effectués sur des alliages uranium-carbone préparés par fusion sous bombardement électronique et par frittage-réaction sous charge ont permis de tirer les conclusions suivantes <sup>7)</sup> :

- l'usinage par électro-érosion de ces alliages est possible, mais les vitesses sont relativement faibles, pour les alliages purs ou de composition surstoéchiométrique (environ 5 à 60 mm<sup>3</sup>/mn suivant les conditions opératoires).

---

7) Les machines ayant servi à ces essais sont les suivantes : "Eleroda" de la Sté Mécano (Ats des Charmilles), "Séléromat" de la Sté Languépin, "Usimu" de la Sté Dunod-Qualitex.

- la présence d'uranium métal, même en faible quantité, facilite beaucoup l'usinage, la vitesse est plus élevée et la descente de l'électrode-outil plus régulière, dans le cas des cermets U-UC.

La figure 11 montre un exemple de perçage effectué par électroérosion sur une plaque de cermet U-UC à 4 p. 100 C en poids.

Pour les alliages purs ou surstoéchiométriques, on observe, en effet, la formation d'arcs nuisibles et l'usinage devient très irrégulier ; celui-ci conduit souvent à l'éclatement des échantillons lorsqu'ils sont de faible épaisseur. Une étude plus précise des conditions opératoires est probablement nécessaire.

La figure 12 représente l'état de surface (obtenu par électroérosion) d'un échantillon de monocarbure fondu sous bombardement électronique - état de surface différent de celui obtenu par abrasion mécanique et présentant des cratères de fusion.

Les débits possibles ne permettent pas de résoudre le problème posé ; cependant, l'électroérosion peut convenir à l'usinage des alliages uranium-carbone et en particulier pour la préparation d'échantillons de forme non cylindrique et pour lesquels la quantité de matière à enlever est faible et la teneur en carbone relativement basse (paragraphe 1-2-a page 3)

#### e) Usinage par ultra-sons.

Cette méthode consiste à entraîner en vibrations, à des fréquences ultrasoniques, des grains d'abrasif en suspension dans un liquide, ceci par l'intermédiaire d'un outil de forme (perçage ou tronçonnage) qui est fixé à l'extrémité d'une tête de magnétostriction. La vitesse d'usinage est réglée d'après la fréquence des vibrations et la puissance du générateur. La difficulté est de maintenir l'accord de résonance entre la tête et l'outil et d'éviter l'amortissement de ce dernier. Le liquide véhiculant l'abrasif circule en circuit fermé, permettant ainsi le refroidissement de l'outil et de la pièce, le renouvellement des grains d'abrasifs usés et l'évacuation des "particules d'abrasion".

L'emploi de cette méthode pour les alliages U-C est limité par les très faibles profondeurs de perçage possibles : les essais effectués sur des alliages préparés par frittage-réaction sous charge, ont conduit à des profondeurs de l'ordre du centimètre.

En effet, la vitesse d'avance diminue très rapidement à partir d'une profondeur de quelques millimètres ; ceci est dû principalement à l'amortissement important de l'outil et à la mauvaise circulation de l'abrasif dans la zone "de coupe". On peut remédier en partie à ces inconvénients en effectuant un remontage périodique de la tête et un arrosage "central", au lieu de l'arrosage habituel par l'extérieur de l'outil.

En conclusion, cette technique reste peu intéressante dans le cas présent à cause des débits peu élevés et des faibles "profondeurs" d'usinage qu'elle permet. D'autre part, l'emploi en est délicat et l'usure des outils est importante. Rappelons ici que l'usinage par ultra-sons est utilisé principalement pour les semi-conducteurs et les réfractaires dont l'usinage est impossible par les méthodes mécaniques classiques ou par électroérosion.

f) Techniques annexes.

D'autres méthodes d'usinage interviennent également ici, mais seulement comme complément aux précédentes, car elles ne permettent pas de réaliser, seules, les formes cylindriques recherchées généralement.

En premier lieu, il faut citer le tronçonnage mettant en oeuvre des disques diamantés à liant métallique, de faible épaisseur (environ 1 à 1,5 mm) qui ont l'avantage d'être rigides et d'avoir une faible usure. Ils permettent également des vitesses de coupe élevées, pour une vitesse d'utilisation de 24 à 31 m/s. Le tronçonnage de cylindres d'alliages U-C est grandement amélioré par la mise en rotation des pièces (coupe plus franche, sans éclats, meilleure lubrification), et permettant aussi d'éviter la rectification "en bout"<sup>8)</sup>.

En second lieu, la rectification plane qui "opère" suivant la même méthode que le fraisage et nécessite des meules boisseaux droites, également diamantées et de grande rigidité.

Les débits d'usinage possibles ici sont nettement inférieurs à ceux que l'on peut obtenir en rectification cylindrique, mais son emploi est nécessaire dans la rectification "en bout" simultanée de lingots ou de pastilles de mêmes hauteurs, en grandes séries.

Rappelons pour mémoire, l'usinage électrolytique, utilisant en général des meules diamantées conductrices du courant et combinant un processus de dissolution électrolytique et un effet mécanique d'abrasion. La meule et la pièce constituent respectivement, la cathode et l'anode d'un circuit continu, le liquide d'arrosage, jouant également le rôle d'électrolyte. Cette technique permet des débits élevés d'usinage dans le cas des alliages U-C, en rectification plane<sup>9)</sup>, mais a l'inconvénient de faire appel généralement à des électrolytes aqueux. Une application intéressante consiste dans le tronçonnage (ou la rectification plane) des alliages U-C à teneur "moyenne" en carbone (de 2 à 3 p. 100 C en poids) extrêmement difficiles à usiner par les autres méthodes (voir paragraphe I-1-a).

g) Choix de la méthode utilisée : la rectification cylindrique.

L'examen des différentes méthodes d'usinage et de leurs possibilités respectives, montre que l'on peut résoudre le problème posé par l'une des deux méthodes suivantes :

- la première étant la rectification cylindrique extérieure (voir chapitre II),
- la seconde combinant l'ébauche par carottage, suivie d'une rectification sur machine "centerless". Cette dernière méthode faisant actuellement l'objet d'une mise au point, c'est la première qui a été choisie pour l'étude des rendements usinage dont les résultats sont rapportés au chapitre III.

---

8) Par rectification "en bout" on entend la rectification des extrémités, suivant une section droite des cylindres.

9) Des débits de l'ordre de 500 à 700 mm<sup>3</sup>/mn ont pu être obtenus sur des alliages U-C fondus sous bombardement électronique.

Remarquons ici que les rendements usinage ne dépendent pas en première approximation, de la méthode choisie, dans la mesure où celle-ci n'entraîne pas de rebuts importants inhérents à elle-même. Les résultats de l'étude des rendements qui va suivre sont donc qualitativement valables, quelle que soit la méthode d'usinage utilisée.

## II - TECHNIQUE OPERATOIRE EN RECTIFICATION CYLINDRIQUE.

### 1° - Différentes phases de l'opération.

Etant donné les défauts de surface et la forme des barreaux de monocarbure fondus sous bombardement électronique, à l'état brut de coulée, il est nécessaire, pour en tirer le rendement maximum, de repérer dans chaque barreau le cylindre idéal conduisant à ce rendement. La préparation avant usinage consistera donc à définir l'axe de ce cylindre et à le matérialiser par un centrage. L'usinage en rectification cylindrique de ces barreaux comporte, en conséquence, les phases suivantes :

- Tronçonnage de l'amorce de fusion<sup>10)</sup> [ 1 ]
- Centrage des barreaux à l'aide de forets diamantés
- Rectification proprement dite, en deux stades (ébauche et finition)
- Tronçonnage des deux extrémités sur les longueurs correspondantes aux trous de centrage (longueur d'environ 10 mm chacune) et rectification éventuelle de ces extrémités.

L'opération de centrage est réalisée (en deux temps), à l'aide d'un premier foret-couronne de petit diamètre (3 à 4 mm) puis d'une fraise conique à 60°, également à arrosage central.

La présente étude des rendements d'usinage a porté sur deux séries de barreaux, caractérisées par des méthodes de centrage différentes. Dans la première, le centrage a été réalisé sur la rectifieuse elle-même, en remplaçant la contre-pointe par une tête de perçage munie des forets mentionnés ci-dessus. Dans la seconde série, le centrage a été nettement amélioré, en procédant de la manière suivante (voir schéma figure 13) : le barreau est maintenu verticalement dans un mandrin pouvant tourner librement sur sa base et fixé sur la table d'une perceuse à arrosage central. Le centrage entre le mandrin et la tête de perçage étant réalisé, on fait tourner le barreau suivant l'axe ainsi défini jusqu'à engendrer le volume minimum, deux repères symétriques par rapport à cet axe permettant cette opération. On effectue ainsi le "centrage" du barreau aux deux extrémités.

---

10) Les barreaux, lors de leur coulée, sont obtenus à partir d'une amorce constituée d'un morceau de carbure d'uranium ou de graphite qui ne fait pas partie du barreau.

## 2° - Caractéristiques et conditions d'utilisation des meules.

Les meules pouvant servir à la rectification cylindrique du monocarbure, sont de deux types :

a) Les meules diamantées à liant métallique : elles sont caractérisées par une faible usure et un débit d'usinage important, mais sont d'un coût élevé : leur faible usure a l'avantage de ne pas polluer en impuretés, les déchets d'usinage ; elles conviennent donc pour l'ébouchage. Dans le cas du monocarbure il est nécessaire d'utiliser un liant métallique relativement tendre (par exemple de grade "L") étant donné la dureté et la fragilité du matériau usiné<sup>11)</sup>.

b) Les meules "carborandum" à liant vitrifié ou résinoïde, dans lesquelles l'abrasif est du carbure de silicium "vert" (carbure de silicium pur, dont le symbole est "39 C"). Elles sont caractérisées par une gamme de spécifications beaucoup plus étendue que les meules diamant (ce qui permet de mieux les adapter au travail demandé) et par un prix de revient à l'achat bien plus faible ; par contre, elles ont l'inconvénient de s'user beaucoup plus rapidement (ce qui nécessite un dressage fréquent) et par conséquent de polluer les boues d'usinage en impuretés, particulièrement en bore et en silicium. Ce point est important dans le cas d'une récupération et d'un recyclage éventuels de ces déchets. Cependant, les meules à liant résinoïde donnent un meilleur état de surface que celles à liant vitrifié ou métallique de mêmes spécifications et conviennent donc mieux à l'opération de finition où la quantité de matière enlevée reste faible.

A la suite d'essais d'usinage que nous avons effectués à l'aide d'une rectifieuse universelle de faible puissance représentée figure 15<sup>12)</sup> et de meules de 150 mm de diamètre, nous avons été amenés à choisir les spécifications de meules rassemblées dans le tableau II. Il faut remarquer cependant que ces spécifications sont susceptibles d'être modifiées pour des conditions d'utilisation différentes (en particulier pour des puissances de broche et des diamètres de meules supérieurs). Ces essais nous ont permis également de dresser le tableau III, où nous indiquons les vitesses d'avance longitudinale poss. bles en fonction de la profondeur de passe au rayon, pour un diamètre moyen de barreau de 20 mm. Nous avons utilisé pour cela deux meules diamantées, l'une de semi-finition (meule D<sub>1</sub>), l'autre d'ébauche (meule D<sub>2</sub>).

Lorsqu'on augmente la vitesse d'avance, pour une profondeur de passe donnée, on obtient une vitesse maximale au delà de laquelle l'usinage n'est plus possible pour les raisons suivantes :

a) Ralentissement anormal de la meule dû à la puissance trop élevée demandée au moteur d'entraînement.

b) Résistance limitée de la meule, conduisant à une usure exagérée et des déformations de celle-ci.

---

11) Ce liant est en général, un bronze spécial dont la composition varie suivant la "dureté" ou grade de la meule.

12) Cette rectifieuse de la marque Livet type N4P dispose d'une puissance de broche inférieure à 1 ch.



c) Insuffisance de l'arrosage pouvant provoquer l'inflammation des aérosols entourant la pièce et la meule.

d) Rupture des barreaux sous l'effet des pressions de travail trop fortes et des vibrations mécaniques.

Les limites rencontrées étant inhérentes aux conditions de travail et à la rectifieuse utilisée, nous pouvons en conclure que les vitesses maximales et donc les débits, peuvent être dépassés en améliorant ces conditions (en particulier puissance de la machine, diamètre des meules et débit d'arrosage).

L'examen du tableau III montre d'autre part, que dans nos conditions opératoires, le débit maximum d'usinage en  $\text{mm}^3/\text{mn}$  que l'on peut obtenir dans le cas de l'ébauchage, correspond à des profondeurs de passe et des vitesses "moyennes", de l'ordre de 10/10 mm et de 35 mm/mn environ, respectivement.

### 3° - Les pertes par usinage et leur récupération.

L'ensemble des opérations nécessitées par la rectification cylindrique conduit à deux sortes de déchets, qui se présentent sous la forme de :

a) Morceaux denses provenant des différents tronçonnages

b) Boues d'usinage dont la taille des particules varie depuis un millimètre environ, jusqu'au micron pour les plus fines ; ces boues proviennent essentiellement de la rectification elle-même.

La récupération des déchets peut s'effectuer, pour les premiers, par broyage et refusion directs ; pour les seconds, deux solutions sont possibles, avant la refusion :

- grillage à l'état d'oxyde après dégraissage, suivi d'une carbothermie,
- frittage à température élevée après purification.

Le problème de la récupération des déchets est d'une importance considérable dans une production industrielle de monocarbure d'uranium étant donné le taux de perte élevée, au stade de l'usinage, pour le mode de fusion envisagé (voir chapitre suivant).

Il est donc nécessaire d'étudier avec soin, le procédé permettant la récupération des déchets produits, c'est-à-dire essentiellement la purification de l'huile d'usinage en cours de recyclage. Un procédé simple consiste dans la décantation des boues d'usinage à l'aide de bacs spéciaux ; il donne satisfaction pour un travail intermittent, mais il impose un "volant" d'huile assez important, d'au moins 150 litres dans ce cas, étant donné la charge de l'huile rejetée et le débit d'arrosage demandé (5 à 10 l/mn).

Par contre en travail continu, il devient nécessaire d'ajouter en série à ce dispositif, un système de filtration plus poussé (par exemple filtration sous pression ou par centrifugation) : la décantation récupérant la plus grande partie des boues et la filtration ultérieure assurant la purification indispensable.

### III - CALCUL DU RENDEMENT USINAGE EN RECTIFICATION CYLINDRIQUE.

#### 1° - Définition des rendements envisagés.

Nous avons défini et calculé les rendements qui interviennent lorsqu'on se fixe un diamètre et une longueur de coulée ainsi qu'un diamètre de barreau usiné. Deux cas se présentent suivant que :

a) On vise à obtenir des barreaux usinés de longueur quelconque, ce qui conduit à définir le rendement global que nous désignerons par  $R_0$ .

b) On fixe à la fois le diamètre et la longueur des barreaux usinés ; nous arriverons alors au rendement désigné par  $R_L$ .

Dans les deux cas, le rendement est défini comme le rapport des poids des barreaux usinés, "acceptables", au poids total des barreaux bruts de fusion, après tronçonnage de l'amorce.

Nous avons déterminé pour des barreaux de diamètres de fusion moyens de 25 mm <sup>13)</sup>, les rendements  $R_0$  et  $R_L$  correspondant à des "diamètres d'usinage"  $d$ , compris entre 25 et 14 mm, ce qui nous a permis de tracer les courbes représentatives des variations de ces rendements en fonction de  $d$ .

#### 2° - Méthode de calcul des rendements.

Nous avons mis au point une méthode graphique nous permettant d'obtenir par le calcul, les rendements  $R_0$  et  $R_L$ . Cette méthode consiste à tracer la "carte d'usinage" de chaque barreau, pour des diamètres décroissants (de millimètre en millimètre) au fur et à mesure de la rectification. Pour ce faire, nous mesurons sur les barreaux, à partir d'une même section droite origine et le long de quatre génératrices diamétralement opposées deux à deux et indexées  $i = 1, 2, 3, 4$ , les abscisses  $L_{n,i}$  et  $L'_{n,i}$  du début et de la fin de chaque "portion usinée" caractérisée par un indice  $n$  ; pour chaque génératrice, nous reportons ces abscisses en trait plein, sur un graphique, comme l'indique la figure 14.

##### a) Détermination du rendement global $R_0$ .

Pour calculer ce rendement, il fallait déterminer, en fonction du diamètre, la longueur des "portions de barreaux usinés". On constate sur la carte d'usinage, que chaque intervalle  $|L_{n,i} - L'_{n,i}|$  relatif à une génératrice et caractérisé par des abscisses  $L_{n,i} = j$  est voisin de trois autres intervalles, caractérisés par des abscisses  $L_{n,i} \neq j$ . Nous avons adopté comme longueur  $\Delta L_n$  de la  $n^{\text{ième}}$  portion de barreau usinée, la différence entre la plus grande des abscisses  $L_{n,i}$  et la plus petite des abscisses  $L'_{n,i}$ . Nous calculons ensuite la longueur totale  $\epsilon \Delta L_n$  usinée sur le barreau et la masse usinée correspondante  $\epsilon \Delta m$ , pour un diamètre  $d$  donné.

Nous avons calculé le rendement  $R_0$  en pour cent de la masse usinée, à la masse totale brute :

- d'une part, barreau par barreau (figures 16 et 17), ce qui nous a permis de suivre l'évolution de l'usinage pour chacun d'eux.

---

13) Ces diamètres moyens de fusion ont été obtenus pour un diamètre de coulée de 30 mm ; le diamètre maximum des barreaux bruts de fusion étant de 28 mm.

- d'autre part, pour l'ensemble de chaque série de barreaux (figure 18) afin d'obtenir un rendement moyen  $R_o$ , en fonction du diamètre.

b) Détermination du rendement en longueur donnée  $R_L$ .

Ayant déterminé comme précédemment, les différentes portions usinées de longueur  $\Delta L_n$ , acceptables pour chaque diamètre, nous avons calculé le rendement en "tronçons" de longueur  $L$  donnée, que l'on pouvait tirer des portions usinées ainsi obtenues, c'est-à-dire le rendement  $R_L$ . Pour cela, nous avons calculé le nombre de tronçons entiers de longueur  $L$ , pouvant être découpés dans les différentes longueurs usinées, supérieures ou égales à  $L$ ; nous en avons déduit le poids total de ces tronçons que nous avons rapporté au point total du barreau brut.

En pratique, nous avons considéré, dans ce deuxième cas, uniquement l'ensemble des barreaux d'une même série. Nous avons ainsi obtenu pour chaque série, une famille de courbes du rendement  $R_L$ , en fonction du diamètre  $d$ , la longueur étant prise comme paramètre ( $L$  variant de 0 à 225 mm, de 25 en 25 mm).

#### IV - RESULTATS OBTENUS ET DISCUSSION DES COURBES DE RENDEMENT.

L'examen des courbes obtenues montre, d'une manière générale, que lorsque le diamètre décroît au fur et à mesure de l'usinage, le rendement reste nul ou très faible pendant un certain temps, croît lentement ensuite, puis rapidement pour atteindre un maximum plus ou moins accusé, à la suite duquel, il décroît lentement.

1° - Cas du rendement global  $R_o$ .

Sur certaines courbes, on constate un seul maximum (courbe n° 145, figure 17) et pour d'autres, il existe un maximum principal correspondant à un diamètre optimum, voisin de celui relatif au maximum précédent unique (courbe n° 66, figure 17), mais également des maxima secondaires ou des paliers, correspondant à des diamètres supérieurs.

La forme générale des courbes s'explique, si l'on remarque que, lors de l'usinage d'un barreau, le rendement tend à augmenter au fur et à mesure que la "longueur usinée" de celui-ci augmente mais que simultanément le diamètre diminue, ce qui tend à abaisser le rendement : le maximum observé correspondant au compromis optimum entre ces deux variables.

Les courbes représentées figure 18, du rendement moyen  $R_o$ , moyennes des courbes des figures 16 et 17, font également apparaître un rendement maximum ; on constate qu'il diffère suivant la série envisagée : il est plus élevé pour la série pour laquelle le centrage a été amélioré (série n° 2) et il correspond à un "diamètre optimum" d'usinage mieux défini mais plus faible que pour l'autre série (série n° 1) : ceci doit être rapproché du diamètre moyen brut de chaque série, qui est de 26,4 mm pour la première et de 23,5 mm seulement pour la seconde. Il faut également noter que la "perte au diamètre" correspondant au rendement maximum est plus faible pour la deuxième série que pour la première.

## 2° - Cas du rendement en longueur donnée $R_L$ .

Sur la figure 19, on peut constater que la forme des courbes du rendement en fonction du diamètre d'usinage, dépend de la longueur imposée  $L$  : pour les longueurs comprises entre 25 et 75 mm, ces courbes présentent un maximum unique, correspondant à un diamètre de 16,5 à 17 mm, c'est-à-dire voisin de celui qui correspond au rendement maximum  $R_0$ , quelque soit la longueur. La différence avec ce dernier cas, est que les rendements sont inférieurs et d'autant plus faibles que la longueur imposée  $L$  est plus grande. Pour les longueurs supérieures à 75 mm, les courbes présentent une forme en "dents de scie" : les maxima de rendement correspondant à chaque "dent" étant d'autant plus faibles, comme on pouvait s'y attendre, que le diamètre est plus fort.

La figure 20 montre que les courbes de rendement présentent toutes un maximum principal, accusé, pour un "diamètre optimum" d'usinage compris entre 15 et 15,5 mm ; ce diamètre est sensiblement le même que celui qui correspond au rendement  $R_0$ , dans le cas de longueur quelconque. Cependant, pour des longueurs de barreaux égales ou supérieures à 125 mm, le phénomène de maxima secondaires apparaît comme sur la figure 19, mais avec une amplitude très inférieure.

Comme dans le cas précédent, les rendements sont inférieurs à ceux obtenus pour  $R_0$ , quelque soit la longueur et diminuent quand la longueur imposée  $L$  augmente.

Les formes en "escalier" des différentes courbes peuvent s'interpréter ainsi : on peut caractériser un barreau en cours d'usinage, par la longueur moyenne des parties cylindriques "usinées" (valeur moyenne de  $\Delta L_n$ ) ; lorsque cette valeur est un multiple entier de la longueur imposée  $L$ , le rendement doit passer par un maximum relatif ; puis si l'on poursuit l'usinage jusqu'à ce que  $\Delta L_n$  tende vers un nouveau multiple entier de cette longueur, le nombre moyen de portions de barreaux "acceptables" reste constant, mais leur diamètre diminuant, le rendement diminuera également. Pour la nouvelle valeur de  $\Delta L_n$ , on constatera alors, une brusque augmentation du rendement, suivie à nouveau d'une diminution lente. Ce phénomène de "dents de scie" s'atténue puis disparaît lorsque les fluctuations de  $\Delta L_n$  deviennent de plus en plus grandes.

Ceci montre que le rendement - lorsqu'on impose la longueur des barreaux finis - nécessairement inférieur au rendement dans le cas d'une longueur quelconque, peut être néanmoins assez voisin lorsque les fluctuations de  $\Delta L_n$  sont du même ordre ou plus grandes que la longueur imposée au barreau.

## 3° - Conclusions.

Les courbes que nous venons d'analyser, font apparaître une relation entre le diamètre des barreaux bruts et le rendement maximum, pour un diamètre de barreau usiné. Si pour différents diamètres moyens de barreaux usinés, on trace la courbe des diamètres des barreaux bruts, correspondant au rendement maximum, on pourra dans chaque cas, choisir le diamètre de coulée donnant les pertes minima.

## V - CONCLUSION GENERALE.

La comparaison des différentes méthodes possibles d'usinage, nous a conduit à en sélectionner deux, qui sont les suivantes :

1 - La rectification cylindrique seule,

2 - La seconde étant la rectification sur machine "Centerless", précédée d'un ébauchage par carottage.

L'application de la première méthode, à deux séries de barreaux, nous a permis d'étudier les variations du rendement usinage obtenu, soit en se fixant le diamètre final seul, soit le diamètre final et la longueur finale des barreaux usinés. Dans chacun des cas, il existe une valeur optimale du diamètre de coulée, conduisant à un rendement maximum. De plus, dans le cas des longueurs imposées, la longueur des barreaux finis a une influence sur le rendement, celui-ci étant maximum au voisinage de certaines valeurs de la longueur donnée L.

D'autre part, les rendements croissent rapidement lorsque l'épaisseur de la couche à éliminer par usinage devient faible par rapport au diamètre du barreau fini. C'est ainsi que le rendement  $R_0$  passe d'environ 45 p. 100 à environ 70 p. 100, lorsque le diamètre final passe de 15,5 environ à 30 mm (les diamètres bruts étant respectivement de 26-27 mm à 37-38 mm).

Ceci peut s'interpréter si l'on remarque que l'épaisseur de la zone corticale à éliminer, est sensiblement constante quelque soit le diamètre de coulée et que de ce fait, son importance relative décroît quand le diamètre de coulée augmente.

*Manuscrit reçu le 4 décembre 1964*

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] ACCARY A. , TROUVE J.  
Rapport interne non diffusé, 1963
- [2] ROUSSET P. , ACCARY A.  
Rapport interne non diffusé, 1964
- [3] ROUGH F.A. , CHUBB W.  
BMI 1488 AEC, 1960
- [4] LUBY C.S.  
GA 2060 - Gen. At. Div. , 1961
- [5] HIKIDO T.  
TID 7603 - ORNL, 1960
- [6] ROUSSET P. , ACCARY A. etc  
Rapport DM à publier
- [7] SINIZER D.I.  
Rapport TID 7614, 1961
- [8] BOLTA C. , STRASSER A.  
Rapport NDA 2145, 1960
- [9] METRAL A.R.  
"La machine-outil" Tome VI - Dunod Editeur
- [10] Publications  
"Etincelles" Norton et formulaire Norton, 1960

- [ 11 ] ALBINSKI K. L  
"L'usinage des métaux par électro-érosion"  
Dunod Editeur, 1960
- [ 12 ] BRUMA M., MAGAT M.  
Communication au CNRS
- [ 13 ] CLERC G.  
Société Languépin - Communication, 1959

TABLEAU I

Spécifications des forets-couronnes et conditions d'utilisations<sup>(\*)</sup>

Diamètres des forets (mm) ∅ ext.    ∅ int. (**)	Vitesses de rotation moyennes t/mn	Vitesses de coupe moyennes mm/mn	Grosseur du grain de diamant		Concentration standard
			ASTM	μ	
4 x 2 à 9 x 7	3500 - 4500	12	normale		100 (4,4 ct/cc)  variable suivant diamètres
9 x 7 à 15 x 13	3000 - 4000	9 - 11	50/70	295/210	
15 x 13 à 20 x 18	2500 - 3500	9 - 10	forte		
20 x 18 à 24 x 22	1500 - 2500	7 - 8	30/40	590/420	
24 x 22 à 28 x 26	1500 - 2000	5 - 6	faible		
28 x 26 et au-dessus	1500 - 2000	5 - 6	100/120	150/125	

(\*) Ces caractéristiques concernent les forets diamant type T 100 de la Société Diamant-Boart ; les valeurs des vitesses de coupe ont été déterminées dans les mêmes conditions opératoires, pour une grosseur de grain normale.

(\*\*) Les tolérances obtenues pour la grosseur de grain normale sont de  $\pm 0,1$  mm.



TABLEAU II

Spécification des meules et conditions d'utilisation :  
rectification cylindrique (\*)

Nature de l'opération	Nature de l'abrasif					
	Diamant (D)					
	Vitesse linéaire m/s	Grosueur de grain		Concentration ou Structure	Liant	Dureté
ASTM		μ				
Ebauche (meule D <sub>1</sub> )	25 - 30	50/70	295/210	100 (4,4 ct/cc)	bronze	L
Semi-finition (meule D <sub>2</sub> )	25 - 30	100/120	150/125	75 (3,3 ct/cc)	bronze	L
Carborandum ( <sup>39</sup> C)						
Ebauche	25	46/60	420/300	8	vitriifié (VK)	I/J
Finition	30 - 40	120/150	130/100	8	résinofde (B5)	M/N

(\*) Ces caractéristiques établies pour des meules de diamètre 150 mm et une puissance à la broche inférieure à 1 CV, sont susceptibles d'être modifiées pour des diamètres et des puissances supérieurs.

TABLEAU III

Rectification cylindrique des alliages uranium-carbone

Profondeur de passe (mm)	Vitesse d'avance longitudinale (mm/mn)													Débits maxi. mm <sup>3</sup> /mn	
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	meule 1	meule 2
1/10														390	400
2,5/10														880	960
5/10														1350	1650
7,5/10														1350	2025
10/10														1200	2100
12,5/10														740	1850
15/10														435	870
17,5/10														-	-

- Vitesse d'avance longitudinale en fonction de la profondeur de passe et débits maxima correspondants.

Diamètre de meule  $\phi$  150 mm, largeur E 5 mm - Vitesse de rotation N 3 800 t/mn

Légende :

		domaines d'utilisation critique
		domaines de non-utilisation

(1)                      (2)

Caractéristiques {

- Meule 1 : semi-finition - D100/120 (152/125  $\mu$ ) . C 75
- Meule 2 : ébauche - D52/72 (295/210  $\mu$ ) . C 100.

PLANCHE I

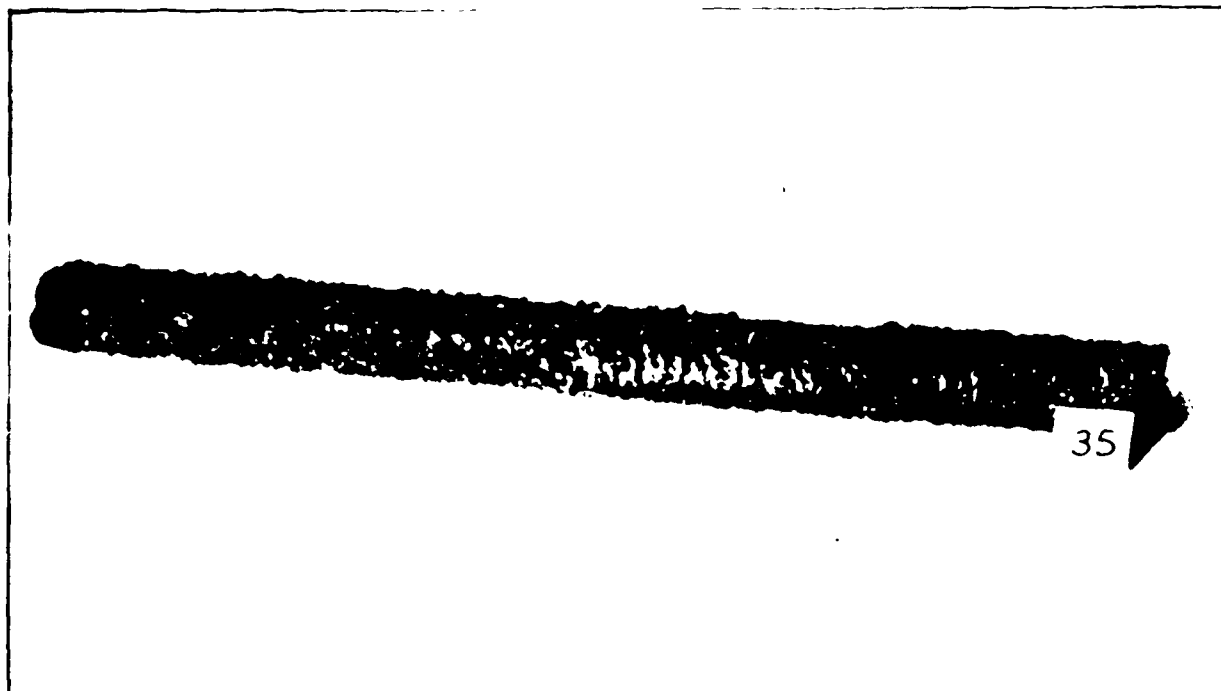


Fig. 1 a) - Barreau de monocarbure fondu par bombardement électronique, brut de coulée - Etat de surface granuleux (longueur 27 cm, diamètre 28 mm).

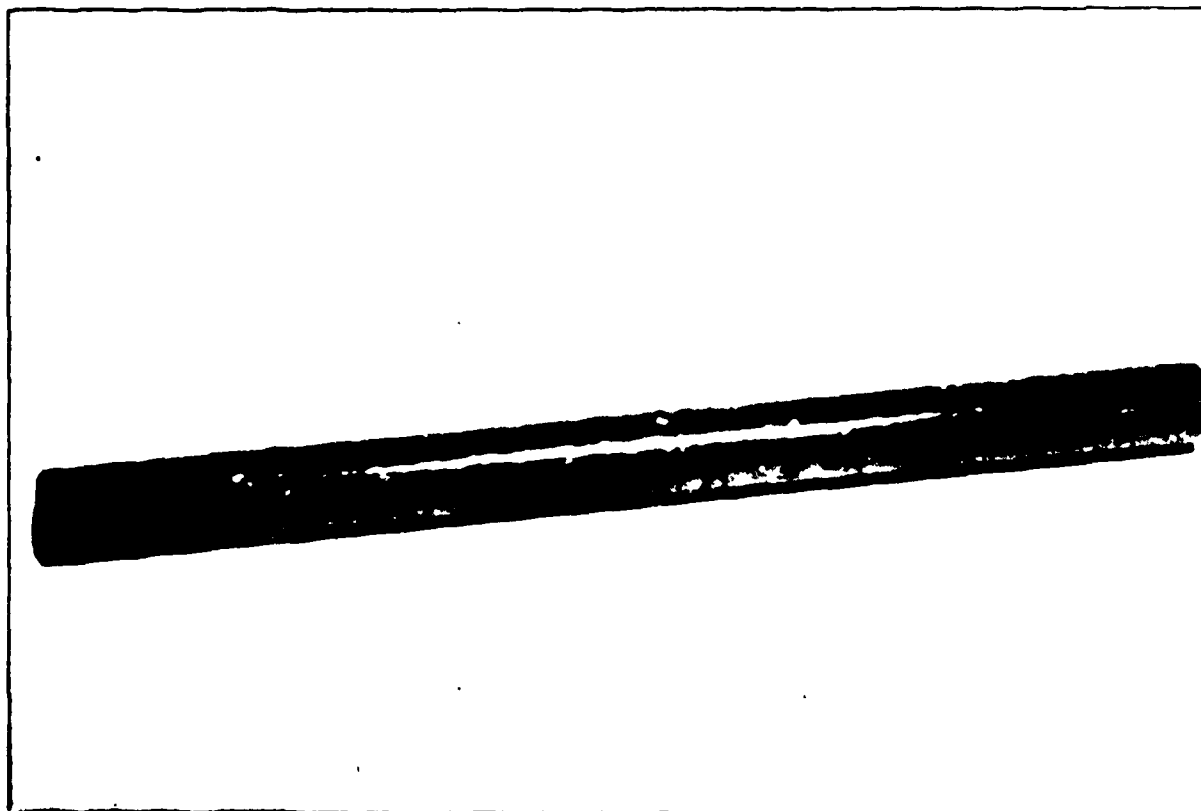
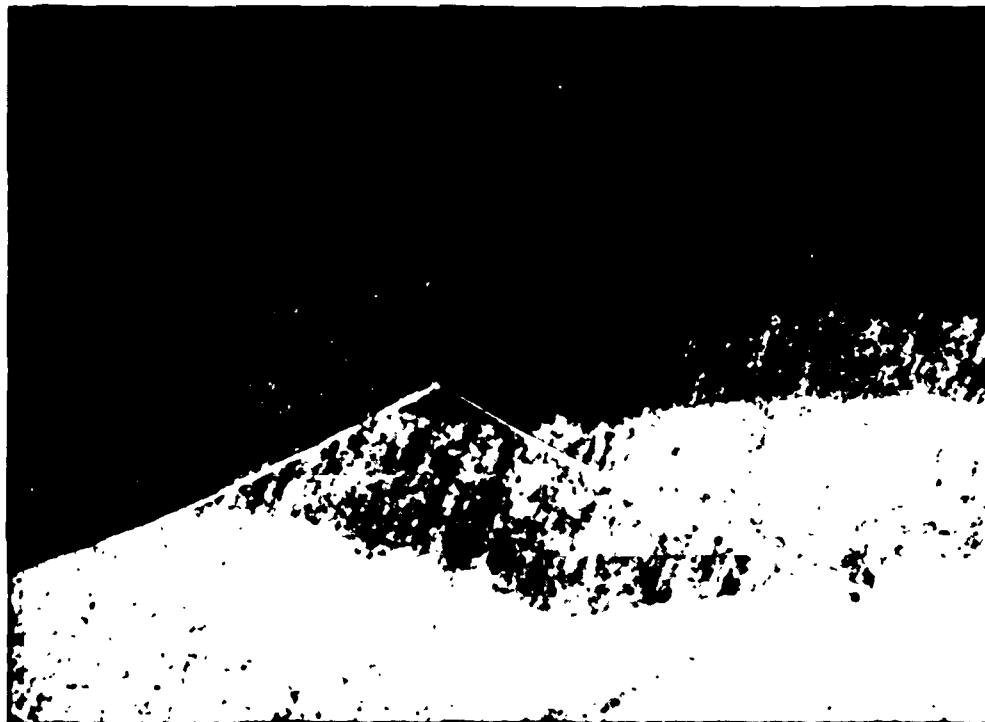


Fig. 1 b) - Barreau de monocarbure fondu par bombardement électronique, brut de coulée, après rectification cylindrique ( finition) - Bon état de surface et côtes précises (longueur 260 mm, diamètre 17 mm environ).



x 300

Fig. 2



x 300

Fig. 3

Monocarbure d'uranium fondu sous bombardement électronique :  
barreau en coupe longitudinale, après attaque chimique.  
En haut : bord.

Fig. 2 - Après rectification en ébauche (meule diamant) :  
état de surface grossier et microfissures d'usinage.

Fig. 3 - Après rectification en finition (meule résinoïde) :  
bon état de surface et absence de microfissures.

PLANCHE III

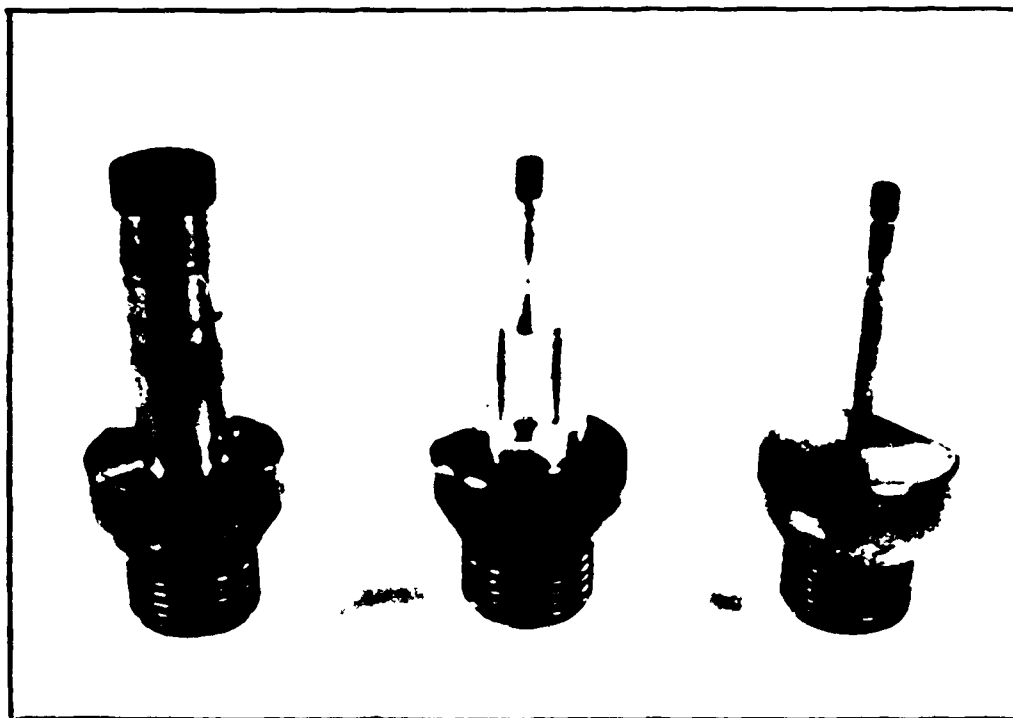


Fig. 4 - Forêts-couronnes diamantés utilisés pour le carottage des alliages U-C sous arrosage central.

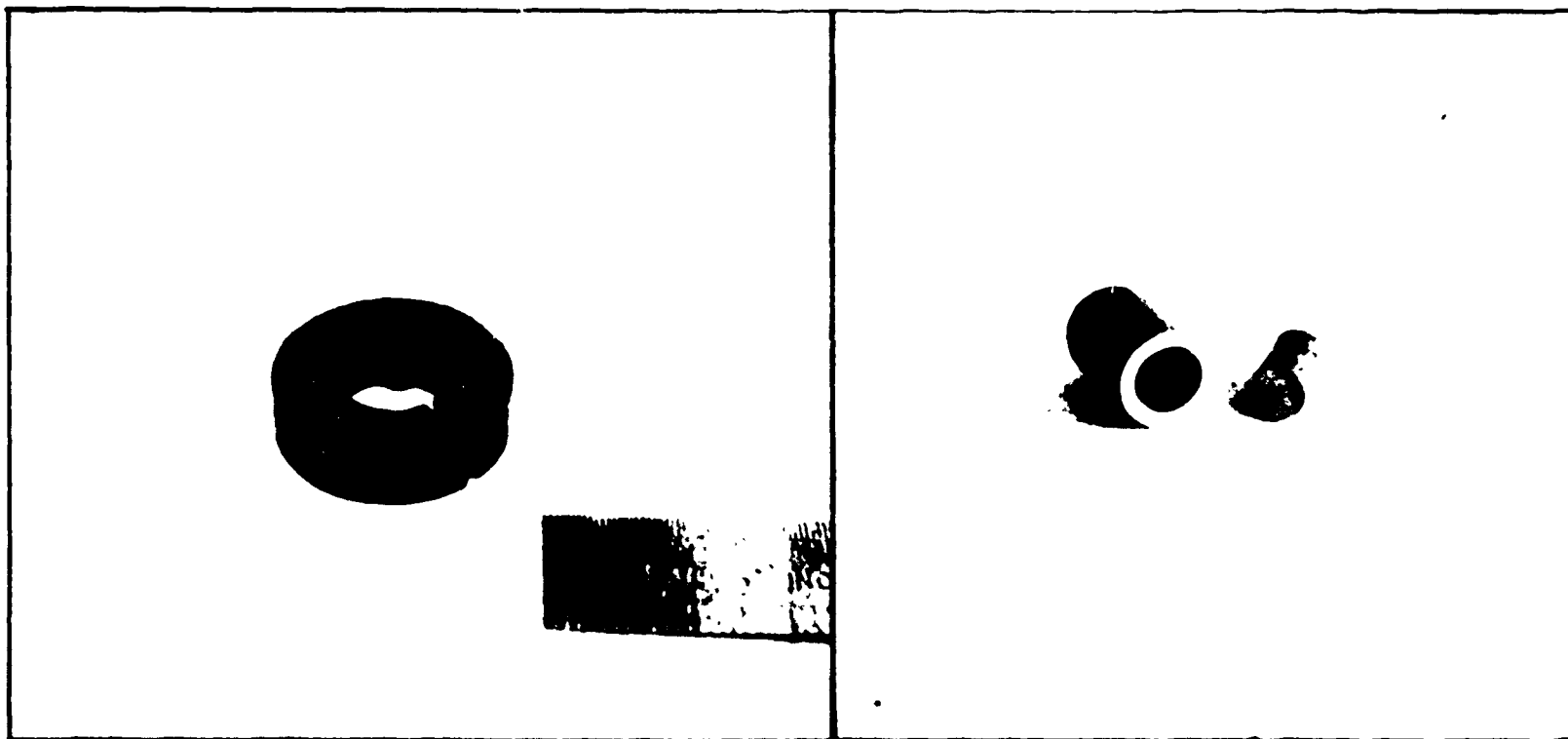


Fig. 5 a) et 5 b) - Echantillons de monocarbure d'uranium usinés par carottage, rectifications cylindrique et plane.

PLANCHE IV

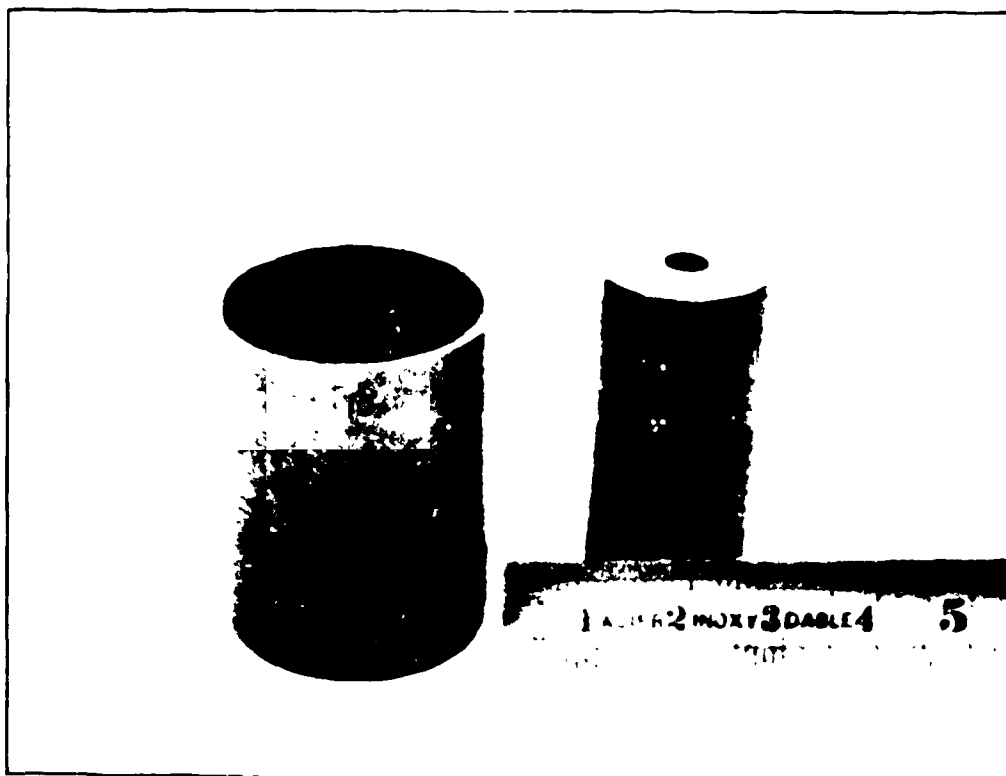
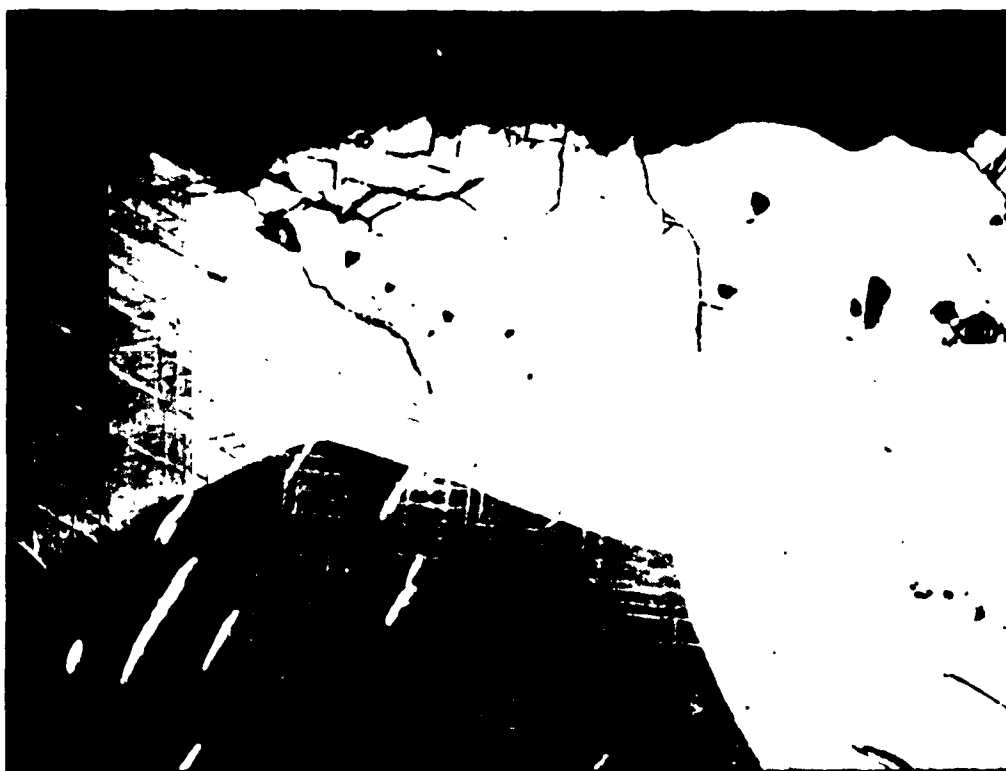


Fig. 6 - Echantillons de monocarbure d'uranium usinés par carottage, rectifications cylindrique et plane



x 150

Fig. 7 - Barreau de monocarbure d'uranium fondu sous bombardement électronique, usinés par carottage au forêt-couronne. Coupe longitudinale après attaque chimique. En haut : bord. Profil montrant l'état de surface grossier et les microfissures d'usinage.

. Planche V .

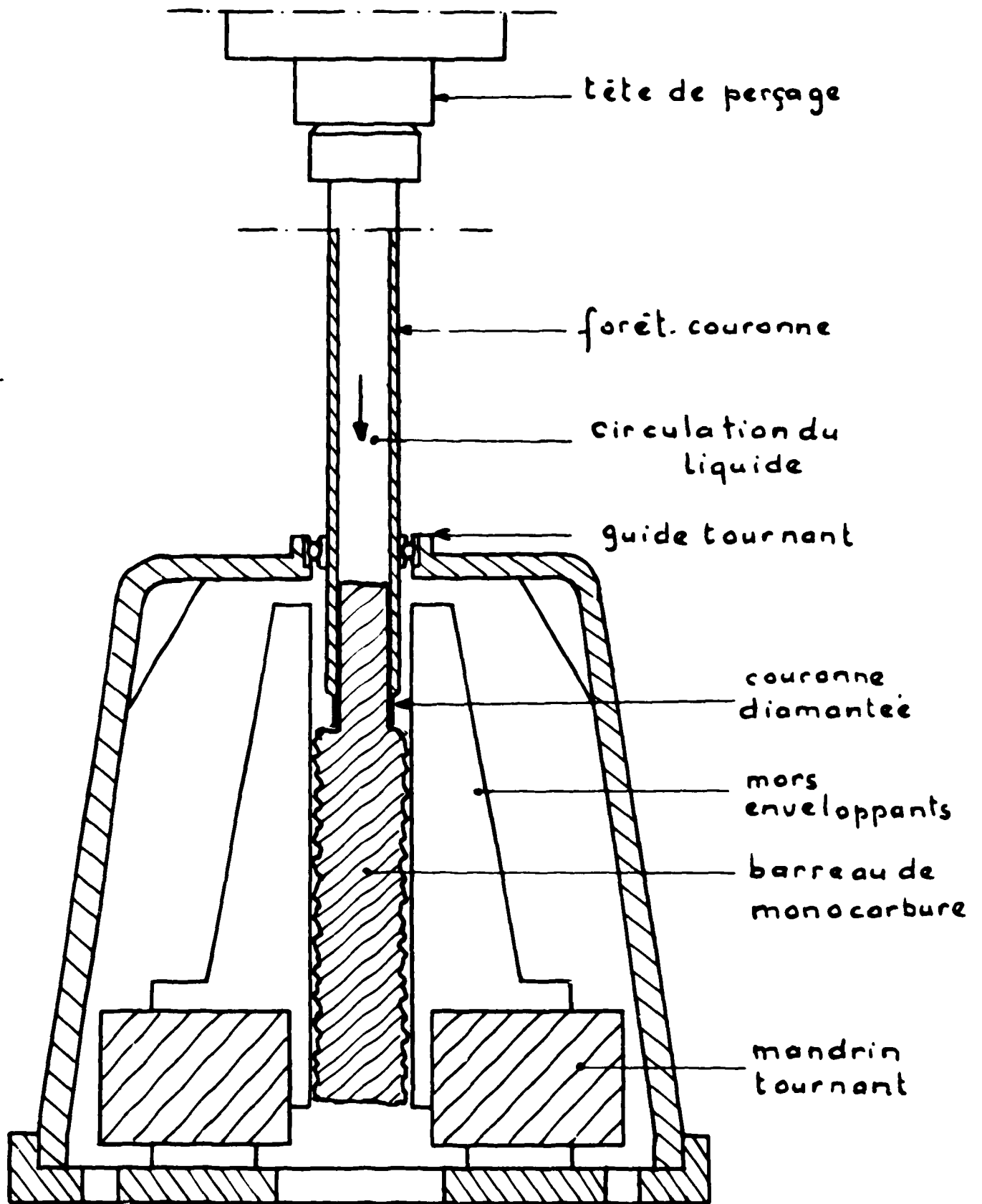


Figure 8 : Montage d'ébauche par carottage de barreaux de monocarbure d'uranium fondus sous bombardement électronique, en coulée continue.

PLANCHE VI

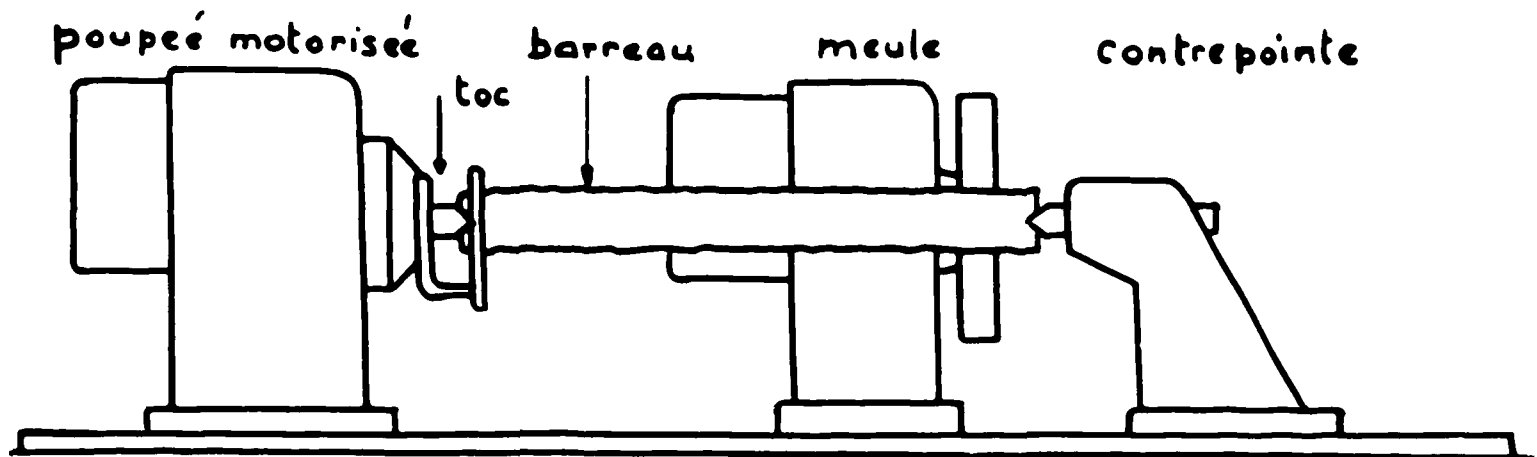


Fig. 9 - Schémas de la rectification cylindrique extérieure : barreau de monocarbure d'uranium fondu monté "entre-pointes".

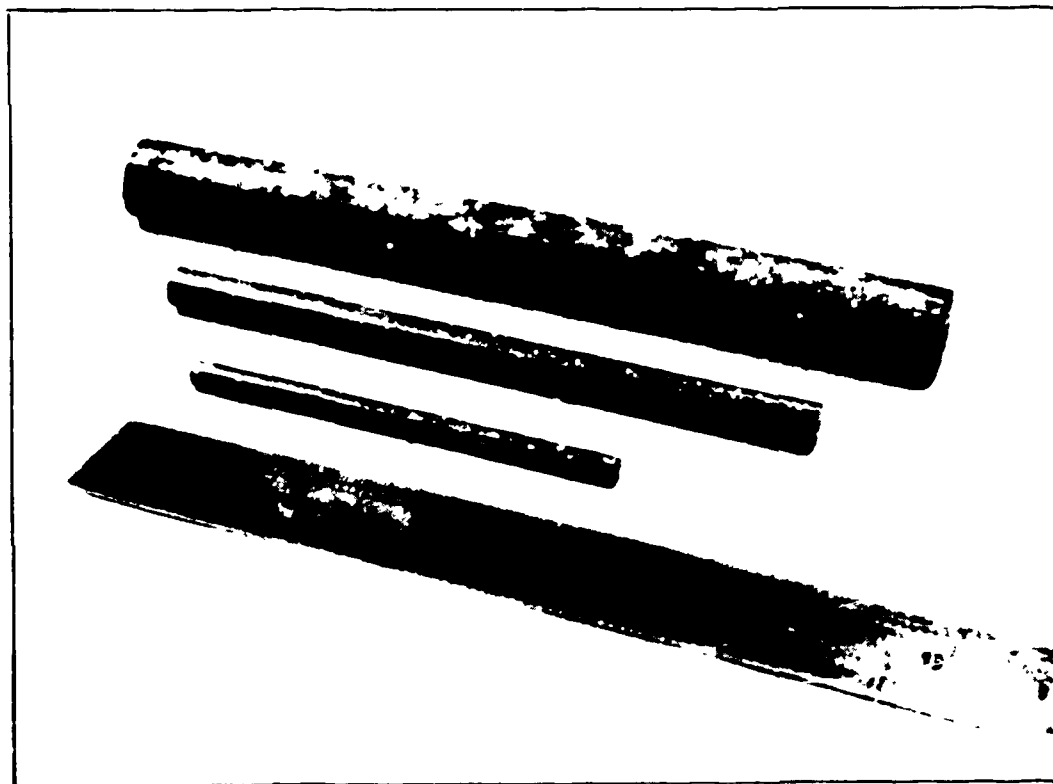
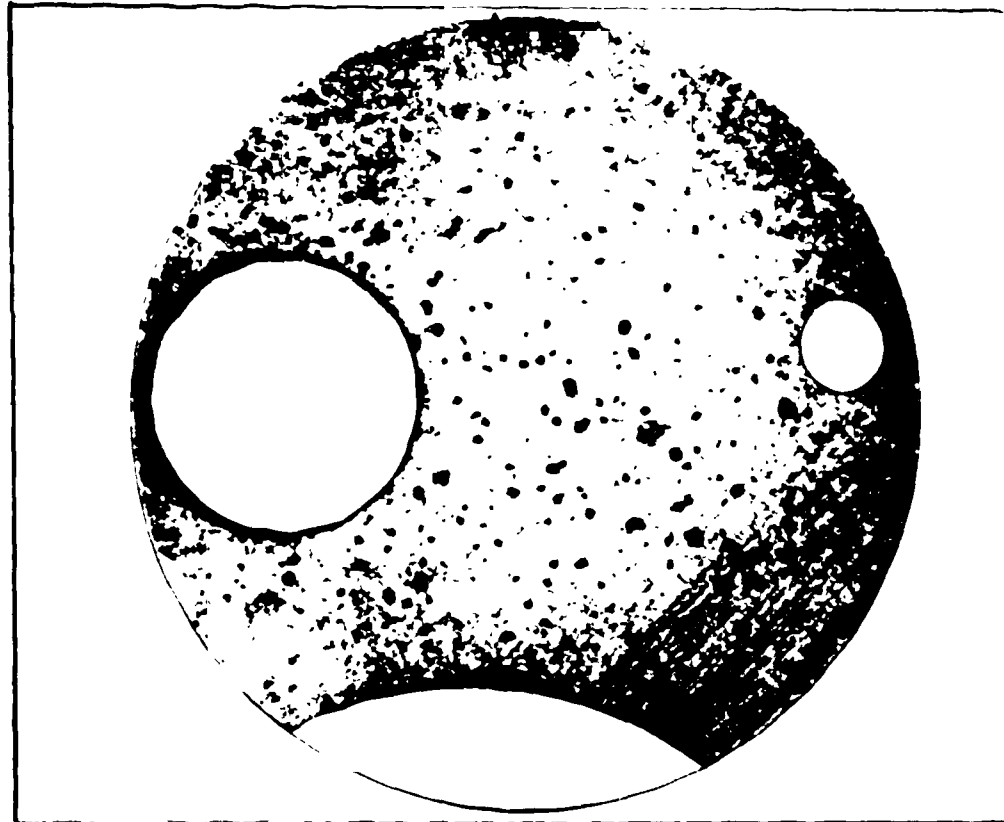


Fig. 10 - Echantillons d'alliages U-C fondus sous bombardement électronique et usinés par rectification cylindrique (meule diamant et meule carbo-résinoïde). Remarquer le rapport longueur/diamètre élevé obtenu par cette méthode.

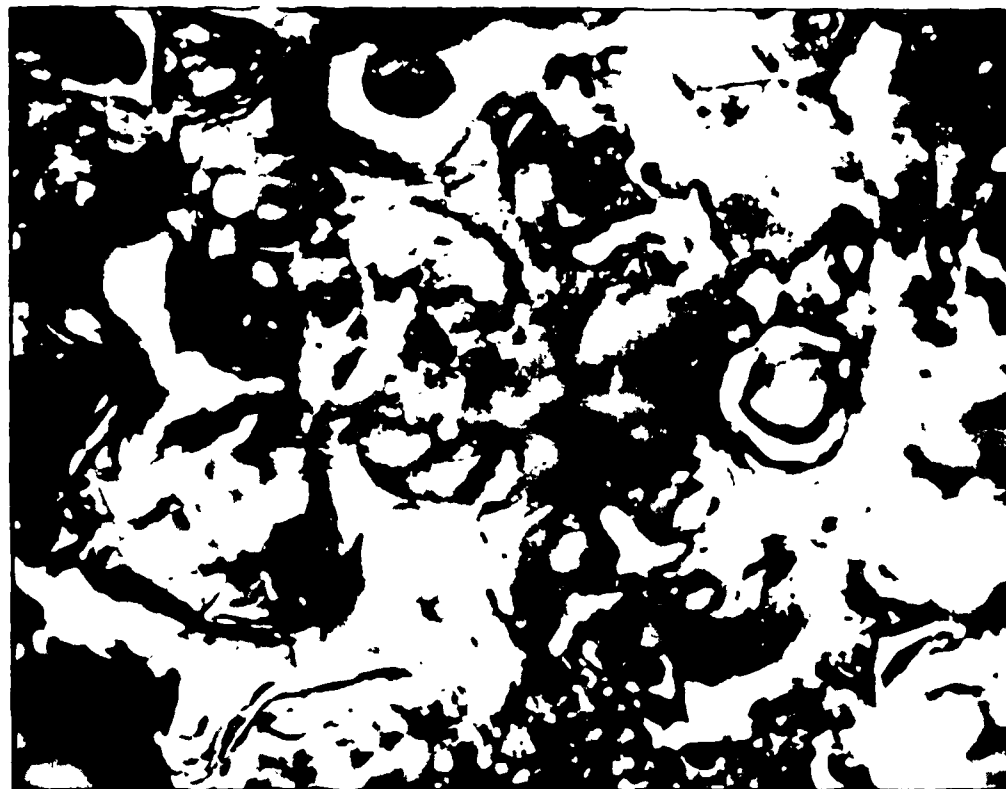


PLANCHE VII



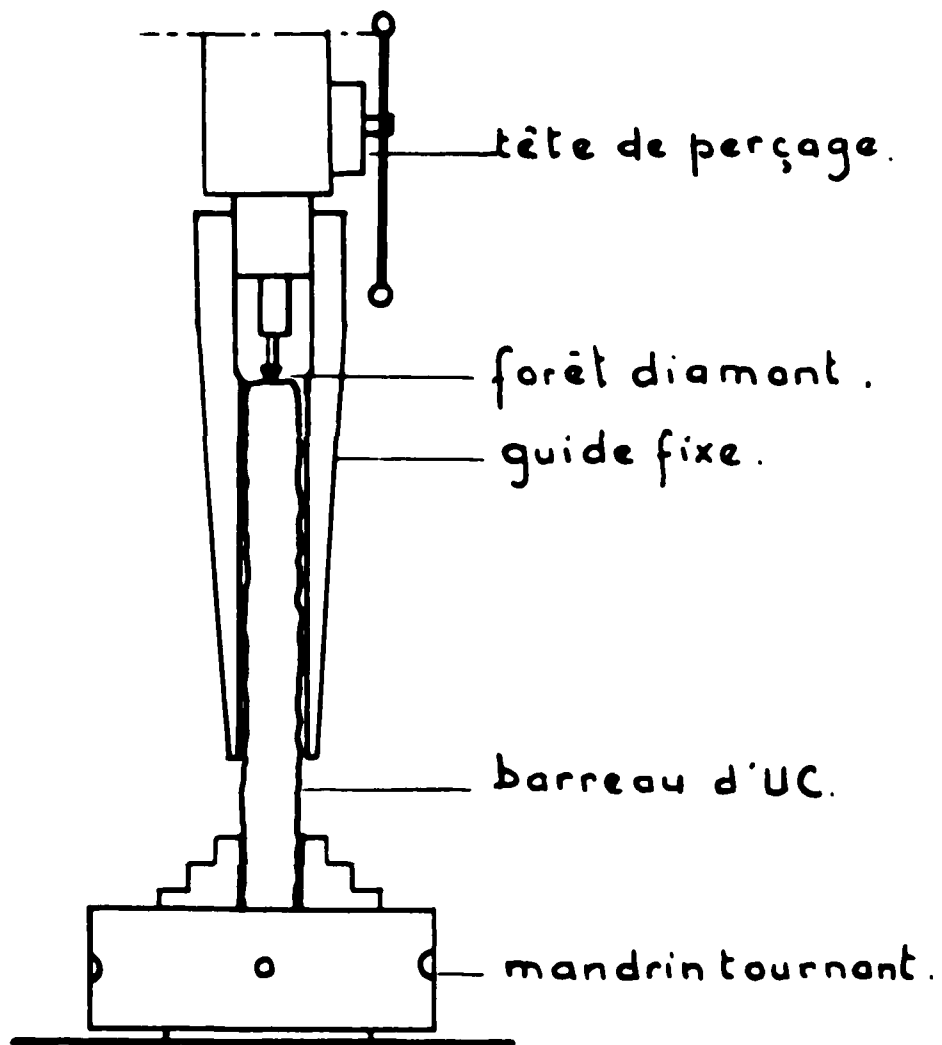
x 6,5

Fig. 11 - Alliage U-C (4 %C en poids) préparé par frittage-réaction sous charge. Perçages effectués par électro-érosion. Coupe à bords francs, sans éclats

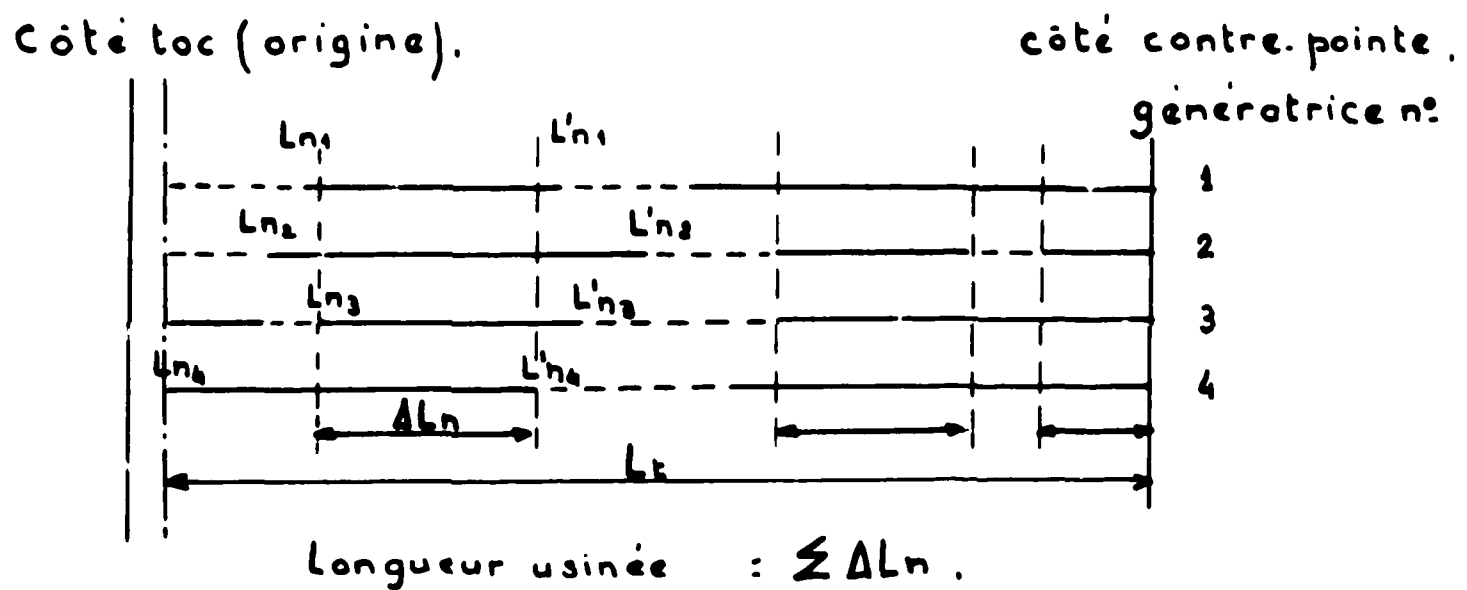


x 450

Fig. 12 - Alliage U-C fondu sous bombardement électronique. Etat de surface obtenu par électro-érosion : microcratères de fusion et microfissures.



. Figure 13 . Montage de centrage des barreaux avant rectification cylindrique extérieure.



. Figure 14 . Carte d'usinage pour le diamètre d .

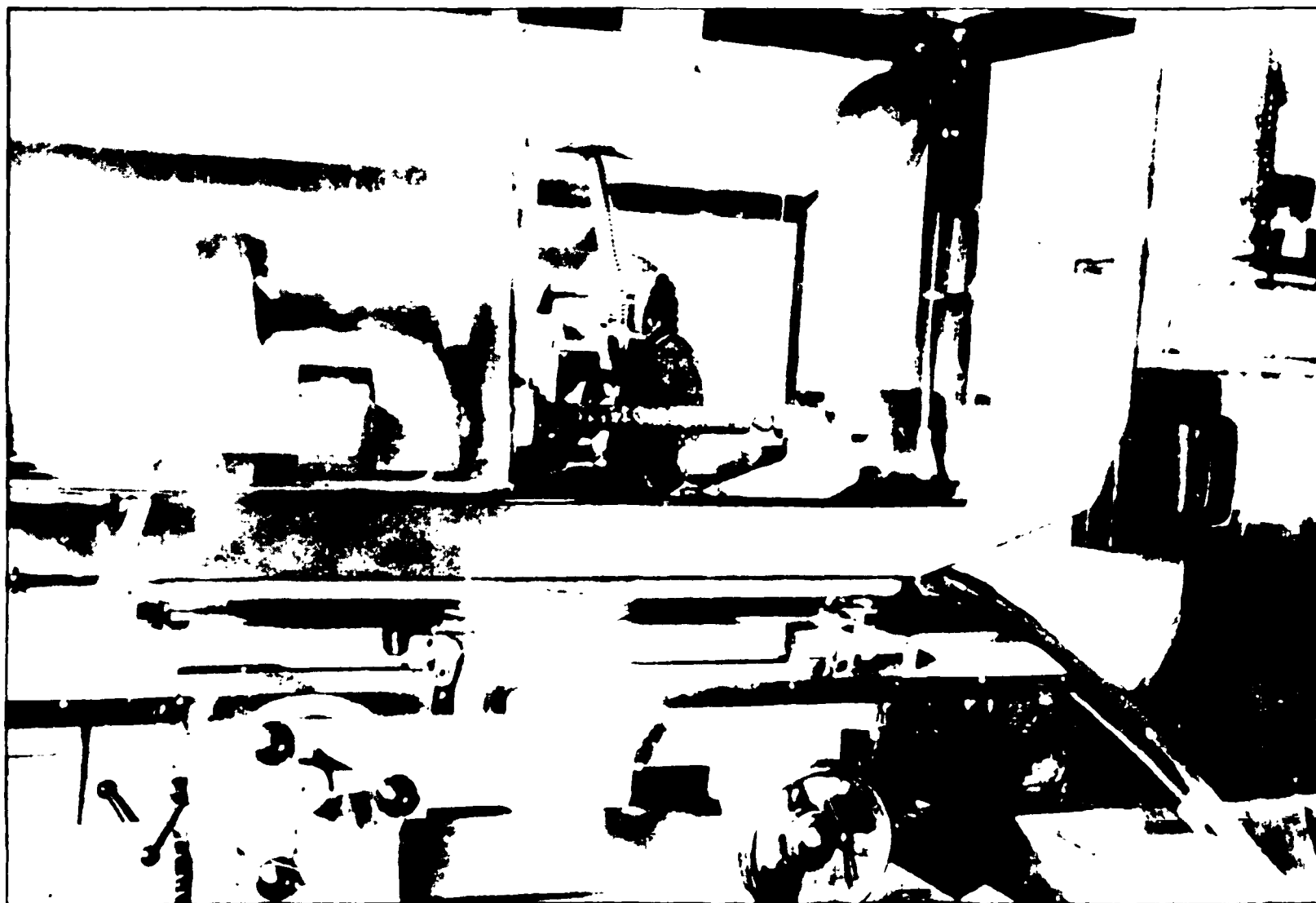
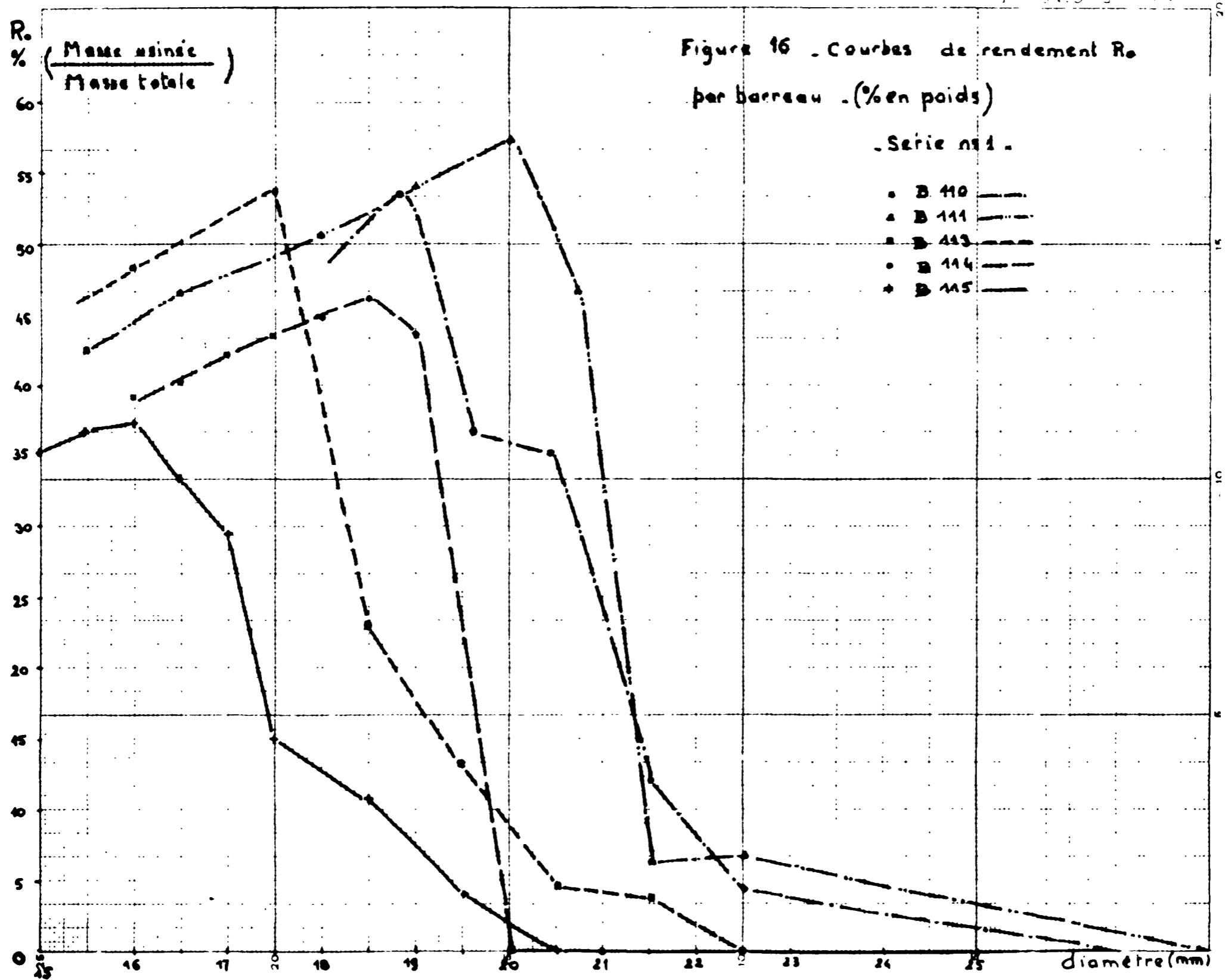
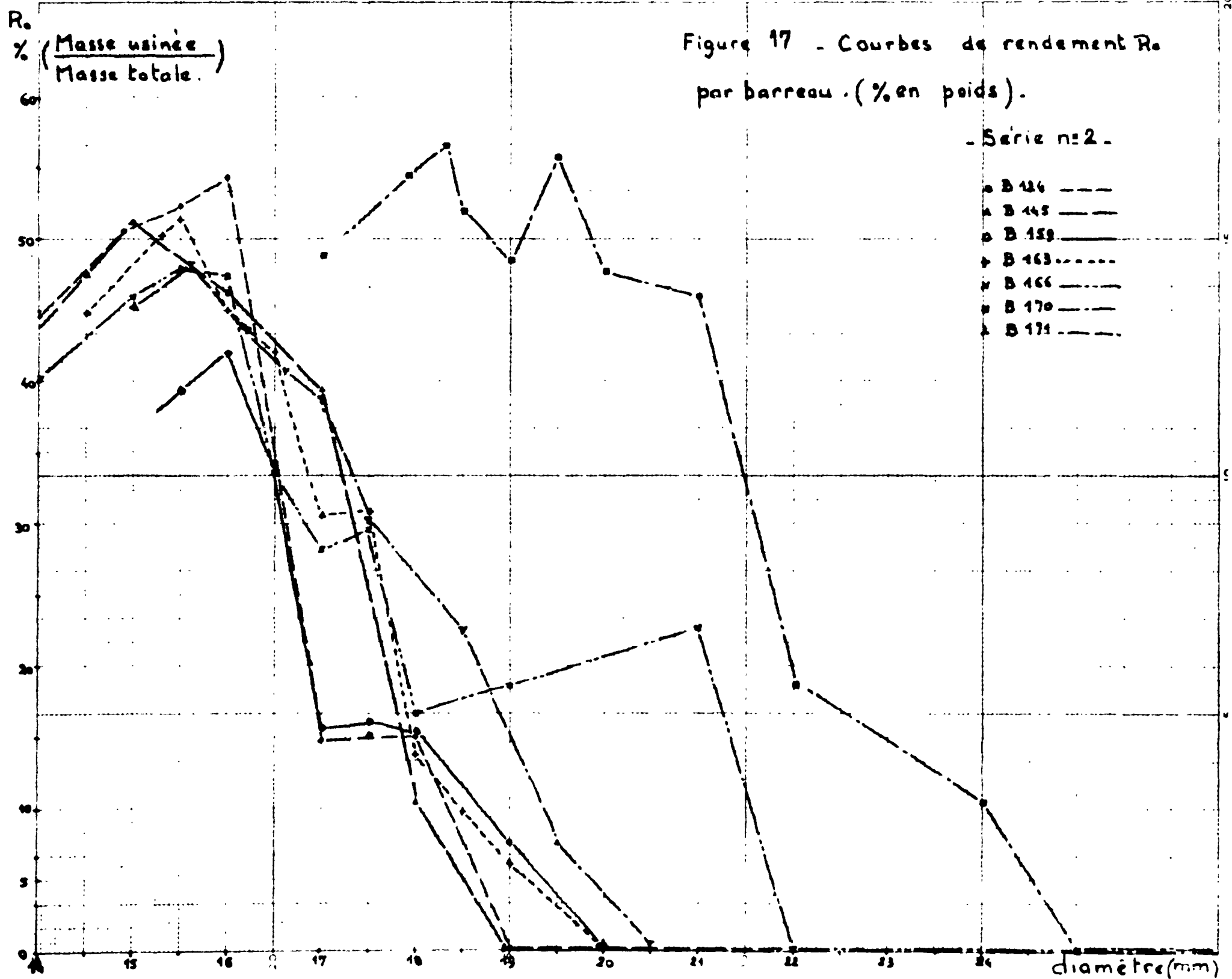
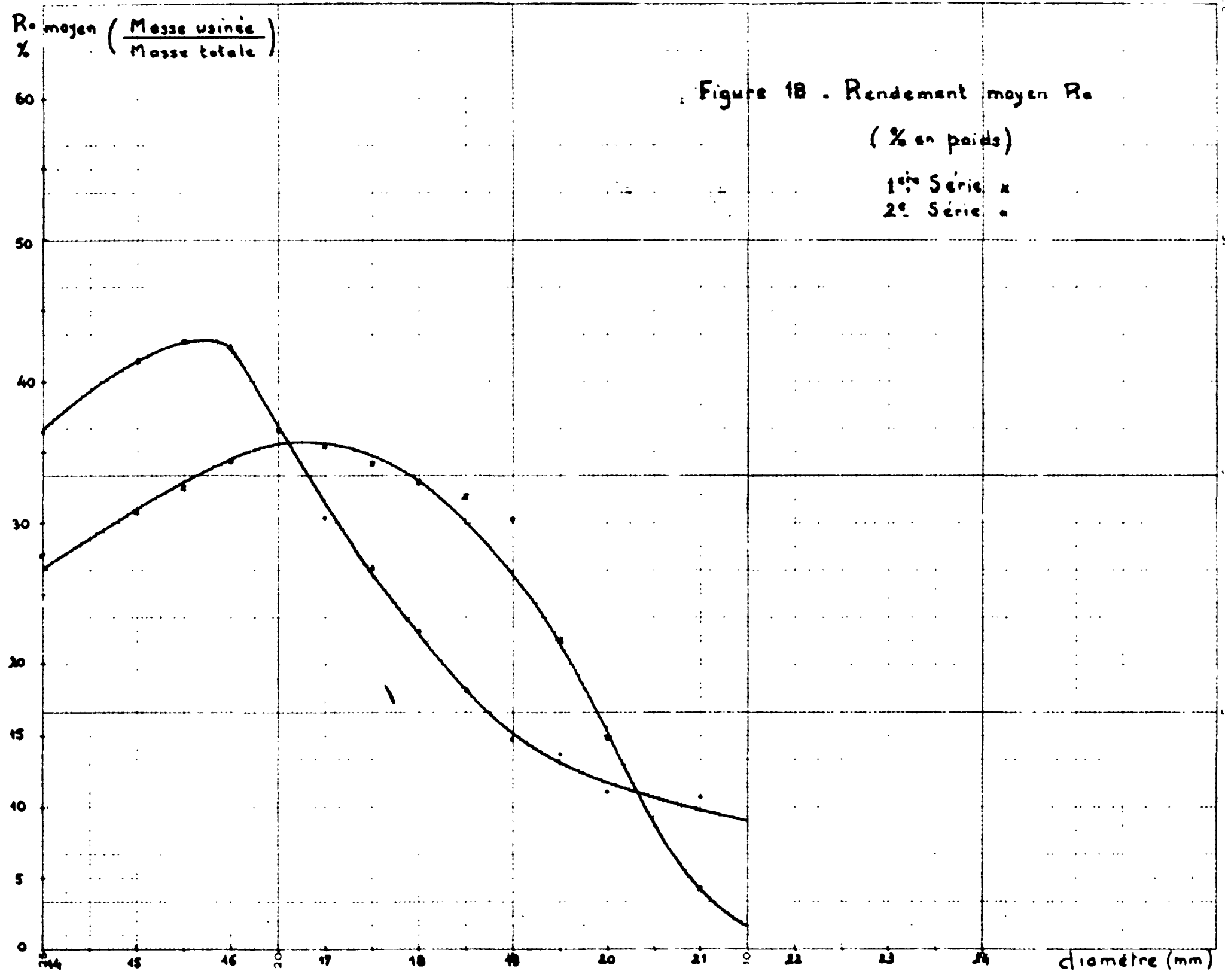


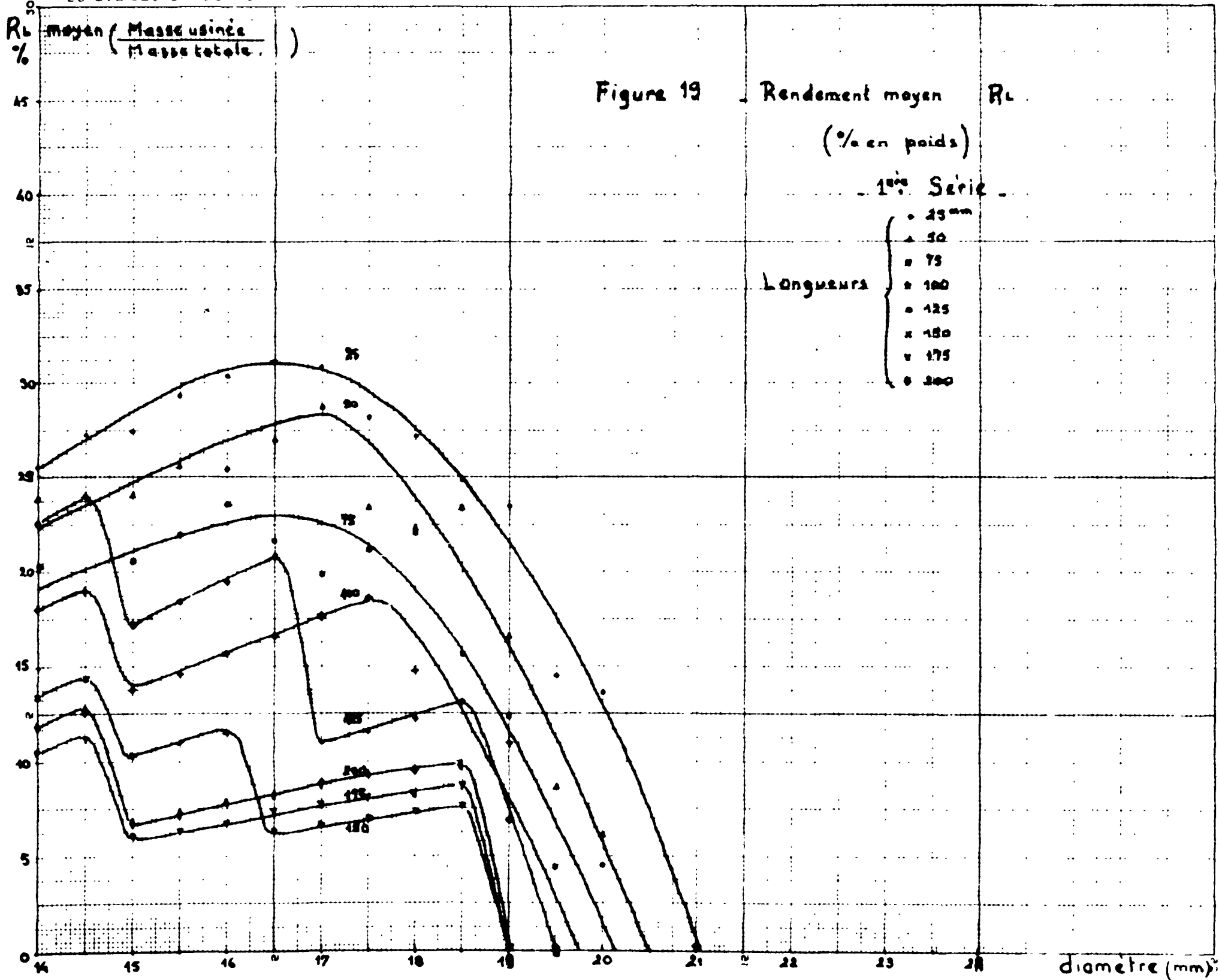
PLANCHE IX

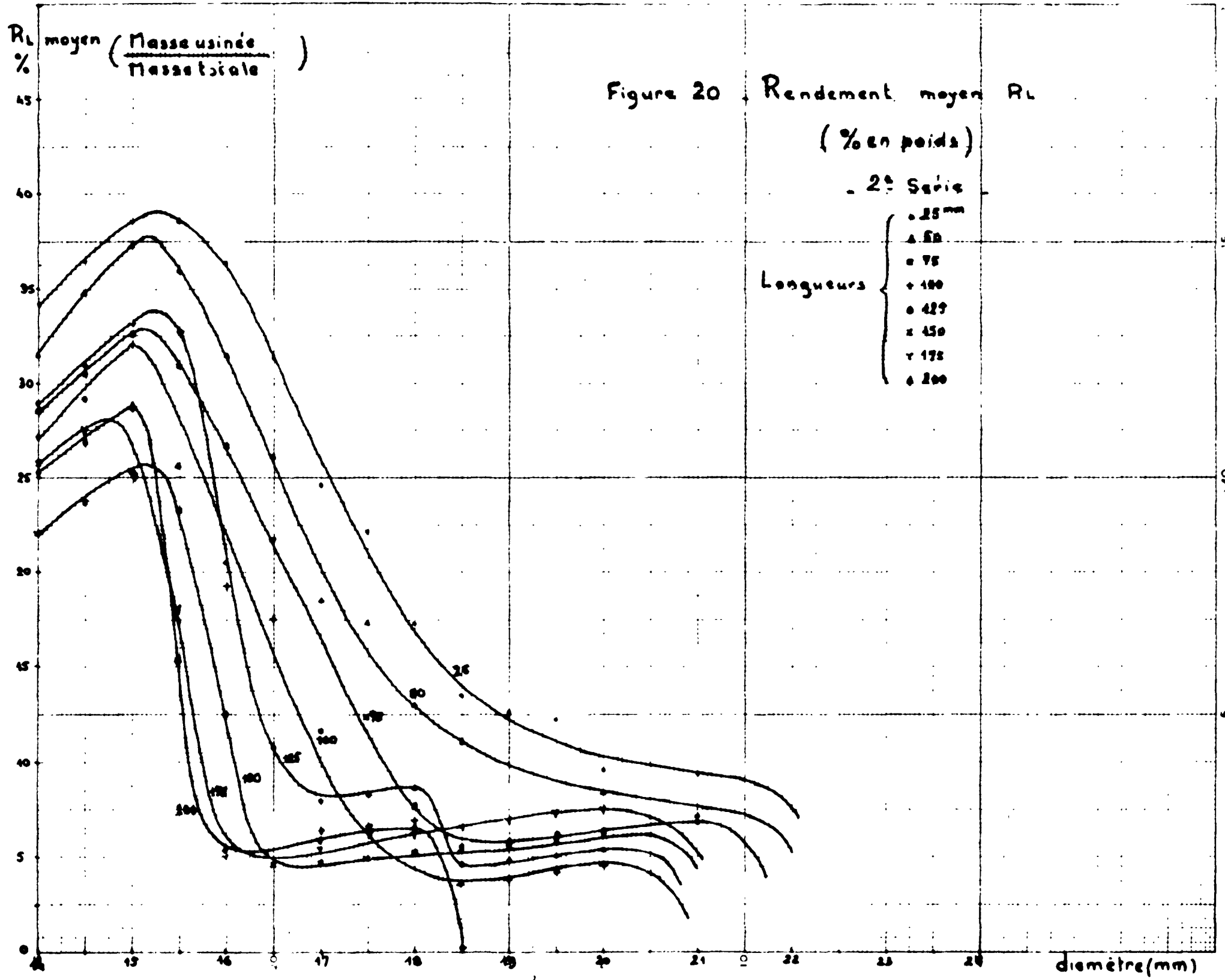
Fig. 15 - Rectifieuse universelle utilisée pour la rectification cylindrique extérieure de barreaux de monocarbure d'uranium fondus sous bombardement électronique : barreau brut de coulée en position d'usinage. Capotage de la machine et ventilation. En bas à droite, bac de décantation de l'huile d'usinage.













**FIN**