

21. Euratom workshop on hot laboratories and  
remote handling  
Mol, Belgium 10 - 11 June 1982  
CEA-CONF-- 6308

**PROCEDE "FABRICE" DE RECONSTITUTION EN CELLULE  
CHAUDE DE CRAYONS EXPERIMENTAUX A PARTIR  
DE CRAYONS PREIRRADIES EN REACTEURS  
DE PUISSANCE**

---

**N. VIGNESOULT, R. ATABEK, S. DUCAS**



PROCEDE "FABRICE" DE RECONSTITUTION EN CELLULE  
CHAUDE DE CRAYONS EXPERIMENTAUX A PARTIR  
DE CRAYONS PREIRRADIES EN REACTEURS  
DE PUISSANCE

I - INTRODUCTION

Dans le cadre de ses études de recherche et développement sur les éléments combustibles de la filière des réacteurs à eau pressurisée, le CEA a été amené à mettre au point l'opération FABRICE qui désigne la "refabrication en cellule chaude" de petits crayons à partir d'éléments combustibles irradiés de grande longueur 17.

Cette opération permet donc de disposer de petits crayons expérimentaux préirradiés destinés à des études paramétriques en réacteur de recherche, dont en particulier, l'étude, entreprise dans le cadre de la collaboration CEA-FRAMATOME, du comportement de crayons irradiés soumis à des sauts de puissance.

Cette refabrication en cellule présente les principaux avantages suivants :

- économie : car elle permet d'éviter une préirradiation coûteuse et longue dans les réacteurs de recherche.
- représentativité des phénomènes étudiés : il est ainsi possible d'effectuer des réirradiations sur des combustibles irradiés dans des conditions réelles des réacteurs de puissance.
- reproductibilité des paramètres des études : il est possible de réaliser plusieurs réirradiations de petits crayons issus d'un même élément combustible de grande longueur.

Cependant, la réalisation de tels crayons refabriqués en cellule exige un suivi constant des opérations de reconstitution et de nombreux contrôles de qualité et de fabrication afin de ne pas modifier les caractéristiques du crayon initial et de réaliser en conséquence des irradiations parfaitement représentatives.

Dans une première partie, la procédure de fabrication en cellule de haute activité sera présentée en insistant, d'une part sur les précautions prises pour éviter toute pollution ou modification du crayon initial, d'autre part sur les contrôles de fabrication systématiques.

Dans une seconde partie, les contrôles et les programmes réalisés pour obtenir une assurance complète de la validité du procédé seront présentés :

- qualification de la fabrication sur des crayons tests
- qualification sous irradiation qui a pour but de démontrer que les crayons FABRICE refabriqués se comportent, dans des conditions expérimentales de sauts de puissance de réirradiation identiques, de la même manière que des crayons entiers ayant les mêmes caractéristiques initiales.

## II - FABRICATION EN CELLULE DE CRAYONS

### II.1 - Déroulement de la fabrication

On reconstitue un crayon expérimental de 500 à 700 mm de longueur, à partir d'un tronçon d'éléments combustibles PWR irradiés dans un réacteur de puissance ; ce crayon reconstitué comprend :

- l'oxyde et la gaine du crayon initial
- des composants neufs : pastilles isolantes, bouchon, ressort.

Il peut être pressurisé soit à l'hélium, soit avec un mélange d'He et de gaz rares (Xe + Kr) afin de reproduire la pression et l'atmosphère interne du crayon préirradié d'origine.

Le tableau I donne le détail des opérations de reconstitution. L'opération de fabrication comprend six étapes principales :

- choix et caractérisation d'un élément combustible irradié
- prélèvement d'un tronçon d'une longueur égale à la longueur définitive de la colonne du crayon FABRICE (plus environ 83 mm)
- extraction de l'oxyde d'uranium aux extrémités du tronçon sur environ 13 mm en partie inférieure et 70 mm en partie supérieure, pour la mise en place des constituants neufs, soit : pastilles isolantes, ressort et bouchons
- soudure des bouchons par argon-arc
- fermeture du crayon par queusotage sous atmosphère contrôlée
- contrôles de fabrication

De nombreuses précautions sont prises au cours de la fabrication afin d'éviter toute perturbation mécanique de l'élément combustible initial (soit au niveau de l'oxyde

d'uranium ou de la gaine) et d'éviter toute modification de la chimie interne du crayon de départ (en particulier introduction d'humidité).

Les principales précautions prises sont résumées ci-dessous :

- toutes les opérations de reconstitution sont effectuées, le crayon étant en position horizontale
- les usinages sont exécutés en employant un disque abrasif à faible vitesse et sans lubrifiant
- nettoyage et brossage des extrémités internes de la gaine
- après usinage, l'extrémité du tronçon est obturée par un bouchon en acier inoxydable pour limiter la mise en contact avec l'air ambiant de la cellule (non purifié)
- les gaz introduits (argon et hélium) passent sur des tamis moléculaires à leur sortie de bouteilles
- après soudure des bouchons sur la gaine et avant queusotage, le crayon (queusot ouvert) est étuvé à 110°C sous vide primaire pendant 72 h afin d'éliminer toute trace éventuelle d'humidité
- Contrôle de l'humidité par hygromètre de l'unité de soudage et de l'ensemble du circuit
- entre chaque opération de fabrication, le crayon est maintenu en container étanche. La fabrication d'un crayon FABRICE dure environ quinze jours.

## II.2 - Cellule et équipements

La caractérisation des crayons, ainsi que les opérations d'usinage, de nettoyage et d'empilement des constituants sont effectuées dans différentes cellules équipées pour ce type de travaux. Par contre, les opérations d'emmanchement, de soudure, queusotage, étuvage, sont toutes rassemblées dans une seule cellule, spécialement conçue pour l'implantation de ces machines et maintenue parfaitement propre avec un niveau de contamination très faible.

La photographie de la figure 1 donne une vue générale de la cellule ; outre le matériel standard (périscopes, unité de levage), elle est équipée des appareils suivants :

- une machine à enfoncer les bouchons
- un ensemble "soudeuse argon-arc"
- un ensemble "soudeuse sous hélium"
- une étuve chambre d'équilibre de pression
- une chambre de ressuage hélium

Un poste de dérivation en cellule permet de commander les circuits pour la mise sous vide ou en pression des divers appareils.

En face avant de la cellule, on trouve (fig. 2) :

- un générateur de soudage et son enregistreur potentiométrique
- un groupe de pompage unique pour les différents appareils en cellule
- un hygromètre permettant de mesurer le degré d'humidité dans la queusoteuse et le circuit associé
- une batterie de bouteilles de gaz : hélium, argon, mélange de gaz Xe + Kr

Des filtres "poral" et des clapets anti-retour protègent la zone avant de toute pollution radioactive.

Tous ces appareils, qui fonctionnent sur les mêmes principes que ceux mis au point au CEA pour la fabrication des éléments combustibles PWR, sont ici amovibles (anneaux de levage, liaison à canalisations souples avec raccords rapides pour permettre leur déplacement aisé ou leur connexion au poste de dérivation).

La longueur des crayons FABRICE ainsi refabriqués est au maximum de 1300 mm.

### II.3 - Contrôle de fabrication

Cinq contrôles non destructifs, indispensables pour garantir la qualité du crayon refabriqués, sont effectués systématiquement :

- Contrôle du cycle de soudage : toute anomalie détectée lors de la soudure laisse présumer la présence de défauts inacceptables. Aucun des 23 crayons fabriqués à ce jour n'a été rebuté selon ce critère.
- test d'étanchéité du crayon : un crayon FABRICE est dit "étanche" si aucune anomalie n'est révélée lors de l'examen visuel et la radiographie des soudures et après le résultat du test hélium.
- contrôle de la gaine : il est effectué d'après un examen visuel, la métrologie de diamètre extérieur et le diagramme de courants de Foucault. Les résultats sont comparés à ceux précédemment obtenus sur le crayon de prélèvement.
- Contrôle des constituants internes : l'analyse par spectrométrie  $\gamma$ , la neutronographie ou la radiographie permettent d'apprécier la conservation intégrale de la colonne



d'oxyde après la fabrication. Un exemple caractéristique du résultat obtenu est donné sur la figure 3.

- Contrôle de la contamination de surface. Après sa fabrication, le crayon est nettoyé afin d'éviter toute pollution dans la boucle de réirradiation.

### III - QUALIFICATION DU PROCEDE FABRICE

L'opération FABRICE nécessitant une assurance complète de la validité du procédé, une qualification de la fabrication sur des crayons tests, refabriqués en cellule, a été réalisée ainsi qu'une qualification sous irradiation.

#### III.1 - Qualification sur crayons tests

Elle a été réalisée sur six crayons tests (crayons fabriqués à partir d'éléments neufs) et sur quelques crayons sélectionnés après réirradiation. Ces crayons ont été soumis, d'une part aux cinq examens non destructifs systématiques, d'autre part aux trois examens destructifs suivants :

- Contrôle de la pénétration des soudures
- Contrôle de l'atmosphère interne de remplissage (volume et composition du mélange gazeux)
- teneur en hydrogène de la gaine

Il ressort des nombreux contrôles effectués les points essentiels suivants :

- Pénétration des soudures : les examens métallographiques des soudures ont toujours montré une pénétration conforme aux spécifications.

- Atmosphère interne

Les volumes de gaz recueillis après perçage sont en bon accord avec les volumes de gaz introduits lors de la fabrication. Il en résulte que les pressurisations des crayons FABRICE sont cohérentes avec les pressions visées (fig. 4).

Dans le cas où le crayon FABRICE est rempli d'un mélange gazeux, il a été également vérifié que la composition du mélange est conservée.

Le tableau II permet de comparer les quantités d'hélium, xénon et krypton, introduites dans le crayon en fabrication et celles qui sont mesurées après perçage sur deux crayons tests et deux crayons FABRICE qui ont fonctionné en pile sans rupture de gaine.

En ce qui concerne l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, les quantités mesurées sont très faibles et de l'ordre de grandeur de celles qui sont obtenues "à blanc" dans l'installation de perçage.

Il n'y a donc pas de pollution par l'un de ces éléments lors de l'opération de refabrication.

- Teneur en hydrogène des gaines

La concentration en hydrogène mesurée dans les gaines de crayons ainsi refabriqués est équivalente à celle du crayon de prélèvement. Elle est de l'ordre de 30 à 40 ppm.

### III.2 - Qualification sous irradiation

La qualification a pour but de démontrer que, dans des conditions expérimentales de saut de puissance identiques, les crayons FABRICE refabriqués se comportent de la même manière que des crayons entiers ayant les mêmes caractéristiques de fabrication (gaine, pastille, pressurisation ...) et ayant subi le même historique de puissance (épuisement massique, dose rapide intégrée ..).

Un programme de réirradiation a donc été entrepris dans le but de comparer le comportement des crayons FABRICE à celui de crayons entiers de même type (appelés crayons jumeaux) réirradiés dans des conditions en tout points identiques, certains de ces crayons jumeaux ont été étudiés dans le cadre du programme PRISCA [2].

Les crayons étudiés ont un taux d'épuisement massique compris entre 10 000 MWd/MtU et 40 000 MWs/MtU.

Les différentes étapes de la réirradiation sont les suivantes :

- palier de conditionnement pendant environ 72 heures
- saut de puissance, à la vitesse d'environ 50 W/cm min., de la puissance de conditionnement à la puissance maximale visée.
- maintien à la puissance maximale pendant environ 48 heures si aucune rupture de gaine n'est détectée.

La comparaison du comportement des deux types de crayons vis-à-vis du phénomène d'interaction pastille-gaine a été déterminée sur les bases suivantes :

- détection ou non d'une rupture de gaine en pile
- zone de défauts, révélés par les tests aux courants de Foucault, qui permettent de déterminer l'emplacement des fissures débouchant ou non dans la gaine.

Ces zones de défauts sont reliées aux paramètres d'irradiation (combustion massive et puissance locales) afin de déterminer les caractéristiques des zones fissurées et non fissurées.

Les résultats obtenus pour les deux types de crayons sont présentés sur la figure 5 ; les sauts de puissance sont représentés sur un diagramme : variation de puissance locale, épuisement massive, pour deux puissances de préconditionnement  $P_1$  et  $P_2$ .

Ces courbes montrent clairement que les expériences réalisées à partir de crayons entiers jumeaux et de crayons refabriqués (en tout point identique) donnent les mêmes résultats et que l'opération de refabrication n'a pas influé sur le comportement de l'élément combustible lors des sauts de puissance.

#### IV - CONCLUSION

La refabrication de crayons préirradiés en cellule apparaît comme une opération parfaitement adaptée au problème de réirradiations en vue d'effectuer des études paramétriques en réacteur de recherche. Cette technique, quoique nécessitant des opérations délicates effectuées en cellule chaude avec un appareillage spécialement adapté et un personnel très expérimenté permet d'une part, une économie très importante par rapport à la préirradiation de crayons neufs, d'autre part, un choix quasi illimité de tronçons de crayons irradiés en réacteur de puissance pour irradiations paramétriques.

La qualification du procédé de fabrication réalisée d'une part sur des crayons tests, d'autre part sous irradiation montre que :

- les caractéristiques initiales du crayon de prélèvement ne sont pas modifiées : intégrité de la colonne d'oxyde et de la gaine, aucune modification de l'atmosphère et de la chimie interne des crayons.
  
- Le comportement sous irradiation de crayons entiers non refabriqués et de crayons FABRICE ayant les mêmes caractéristiques initiales (fabrication, combustion massique, historique de puissance) est identique, pour une combustion massique locale inférieure à 40 000 MWd/t, vis-à-vis du phénomène d'interaction combustible gaine.

Remerciements : Nous tenons à remercier le personnel de la SELECI, en particulier MM. DUCAS, HAMONNIERE, KLEIN, PELTIER, PINERA, PINTE.

**LISTE DES TABLEAUX**

**I - Opération FABRICE. Déroulement de la fabrication**

**II - Composition des mélanges gazeux introduits dans  
les crayons FABRICE**

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1 - Vue générale de la cellule pour refabrication des petits crayons.

Fig. 2 - Vue générale de la face avant de la cellule.

Fig. 3 - Courbe de spectrométrie  $\gamma$  du crayon de prélèvement et du crayon FABRICE après refabrication.

Fig. 4 - Corrélation des volumes de gaz introduits dans les crayons FABRICE et recueillis après perçage de crayons.

Fig. 5 et 6 - Comparaison des résultats des expériences sur crayons entiers et refabriqués pour  $130 < P_i < 150$  W/cm et pour  $150 < P_i < 170$  W/cm

REFERENCE LIST

1. N. VIGNESOULT, R. ATABEK, S. DUCAS

Refabrication en cellule de crayons expérimentaux  
à partir de crayons préirradiés en réacteur de  
puissance..

International Conference post irradiation examination  
of the British nuclear energy society (13-15 mai 1980)  
*GRANGE-OVER-SANDS (GB)*

2. R. ATABEK, M. LEBADZET, N. VIGNESOULT

Interaction combustible-gaine ; expérience CEA-FRAMATOME  
sur crayons préirradiés en réacteur de puissance.

IAEA Specialists' meeting - Arles *(14-17 Mai 1979)*



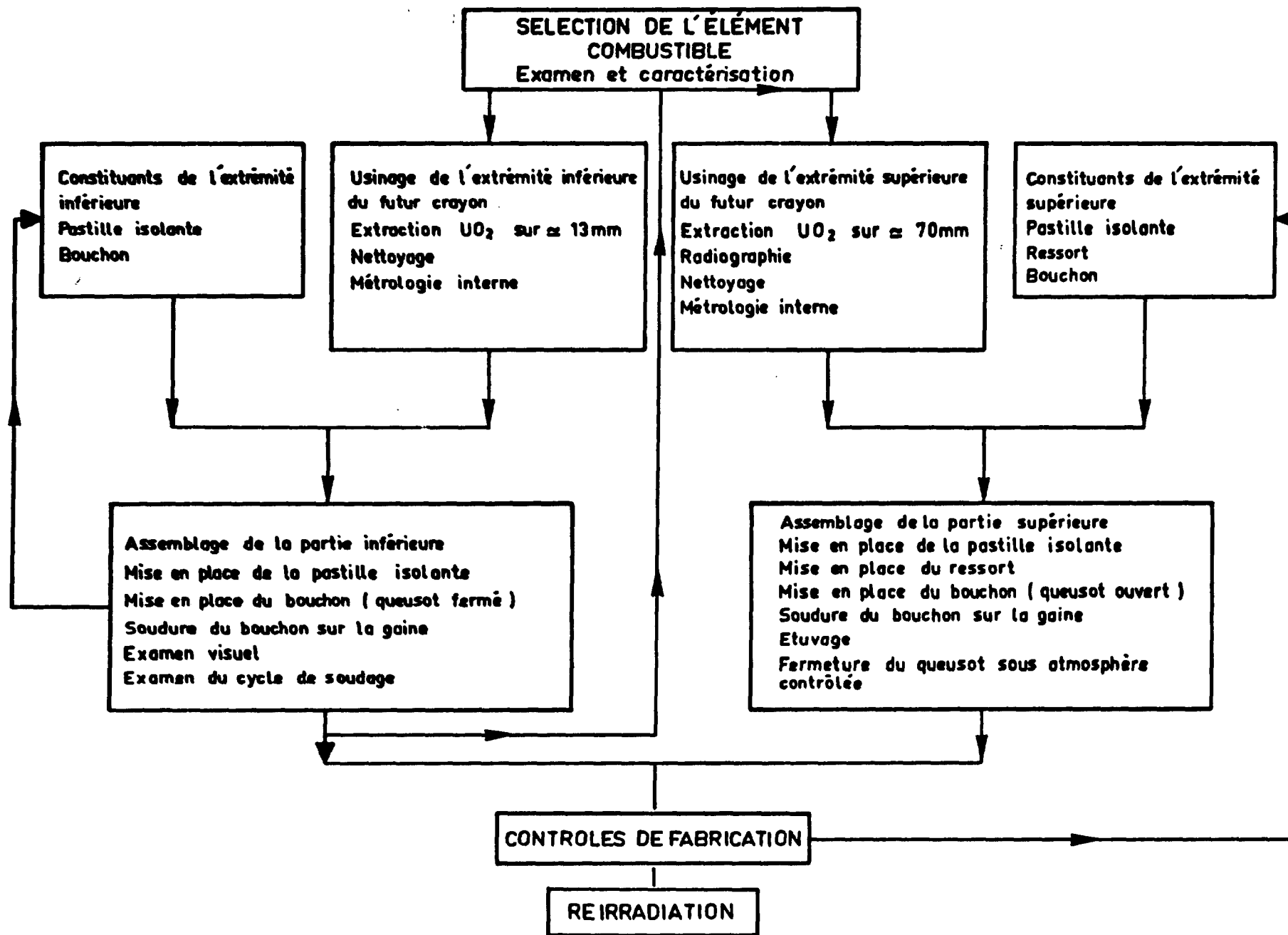


Tableau I

OPERATION FABRICE - Déroulement de la fabrication

TABLEAU II

	Impuretés rappelées à blanc dans l'ins- tallation de perçage	CRAYON TEST				CRAYON REIRRADIE <sup>+</sup>			
		mélange de départ		Résultats après fabrication		Mélange de départ		Résultats après fabrication et réirradiation	
		A	B	A	B	F03	F50	F03	F50
Volume (cm <sup>3</sup> )									
He		6,81	19,5	6,73	20,30	4,70	135,9	4,57	128,8
Xe		25,54	-	26,52	-			1,31	34,74
Kr		3,51	-	3,54	-			0,18	4,09
H <sub>2</sub>	0,04 à 0,115			0,08	0,119			0,14	0,080
O <sub>2</sub>	0,002 à 0,120			0,04	0,004			0,01	0,050
N <sub>2</sub>	0,006 à 0,463			0,23	0,022			0,03	0,28
Humidité				NA	NA			NA <sup>++</sup>	<5 vpm

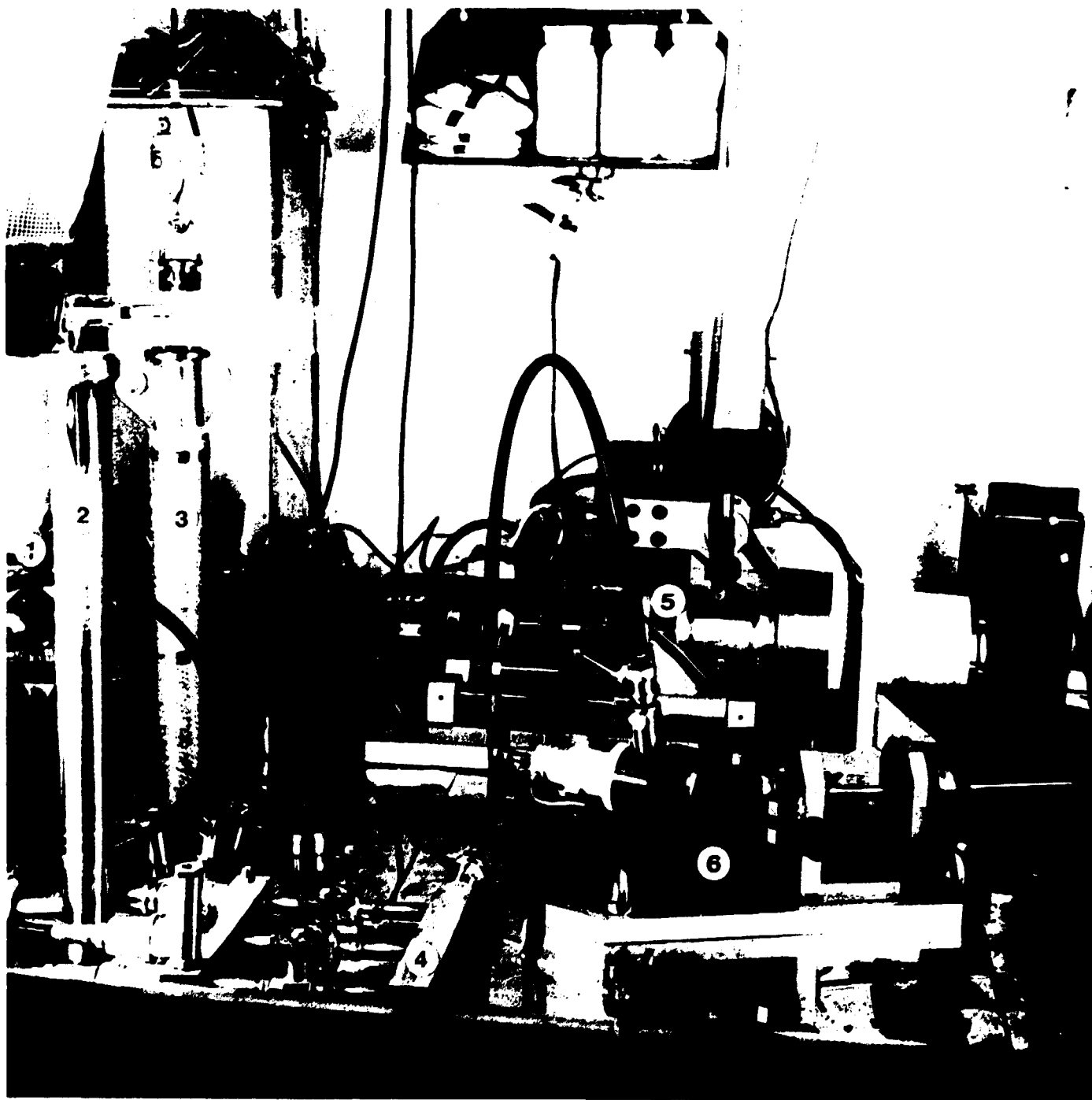
<sup>+</sup>Ces crayons sont restés étanches après le saut de puissance

<sup>++</sup>NA non analysés

COMPOSITION DES MELANGES GAZEUX INTRODUITS

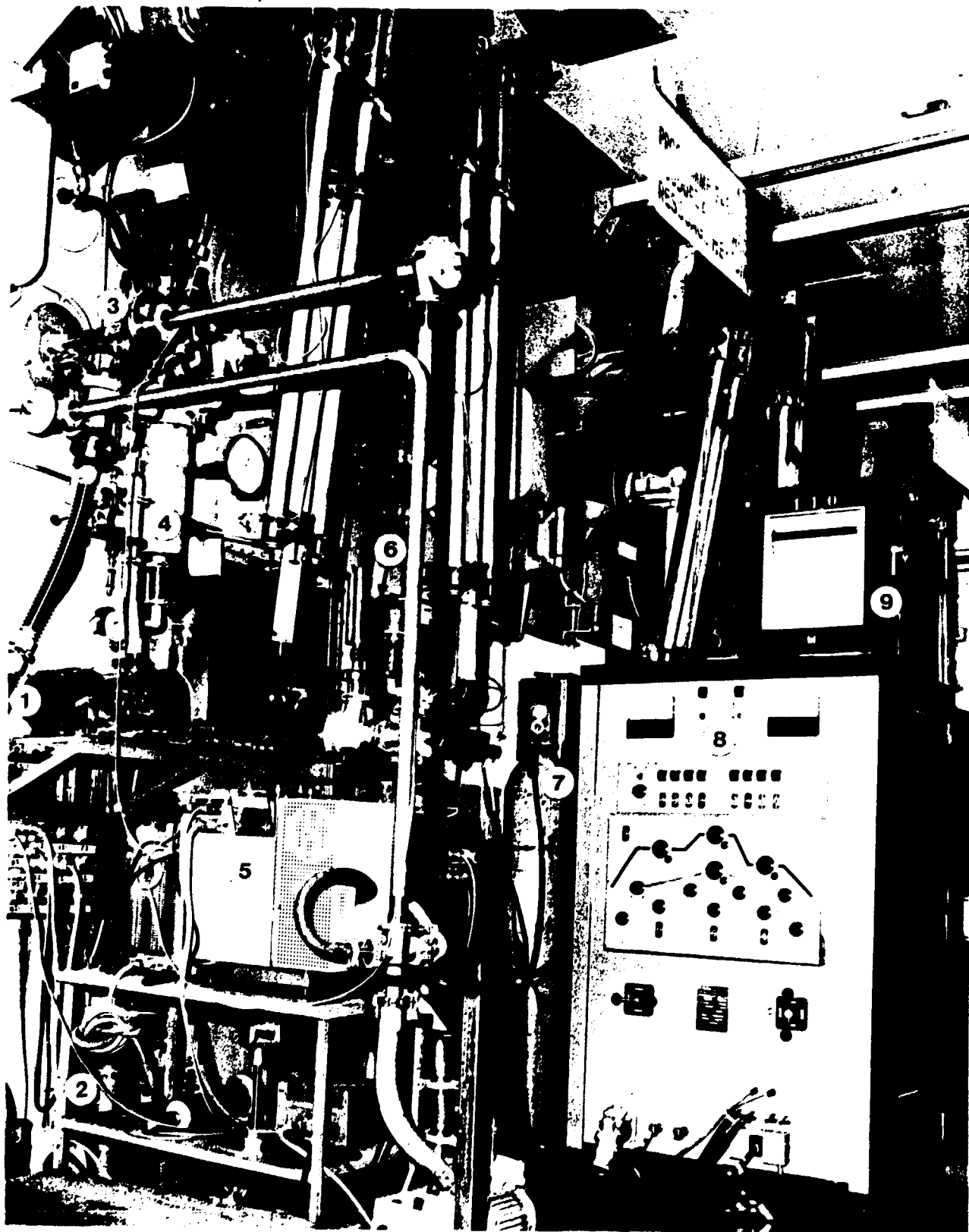
DANS LES CRAYONS FABRICE

VUE GENERALE DE LA CELLULE POUR REFABRICATION DES PETITS CRAYONS



- 1 Machine à enfoncer les bouchons
- 2 Chambre de ressuage He
- 3 Chambre d'équilibre de pression-étuve
- 4 Poste de dérivation
- 5 Ensemble soudeuse argon-arc
- 6 Ensemble soudeuse sous hélium

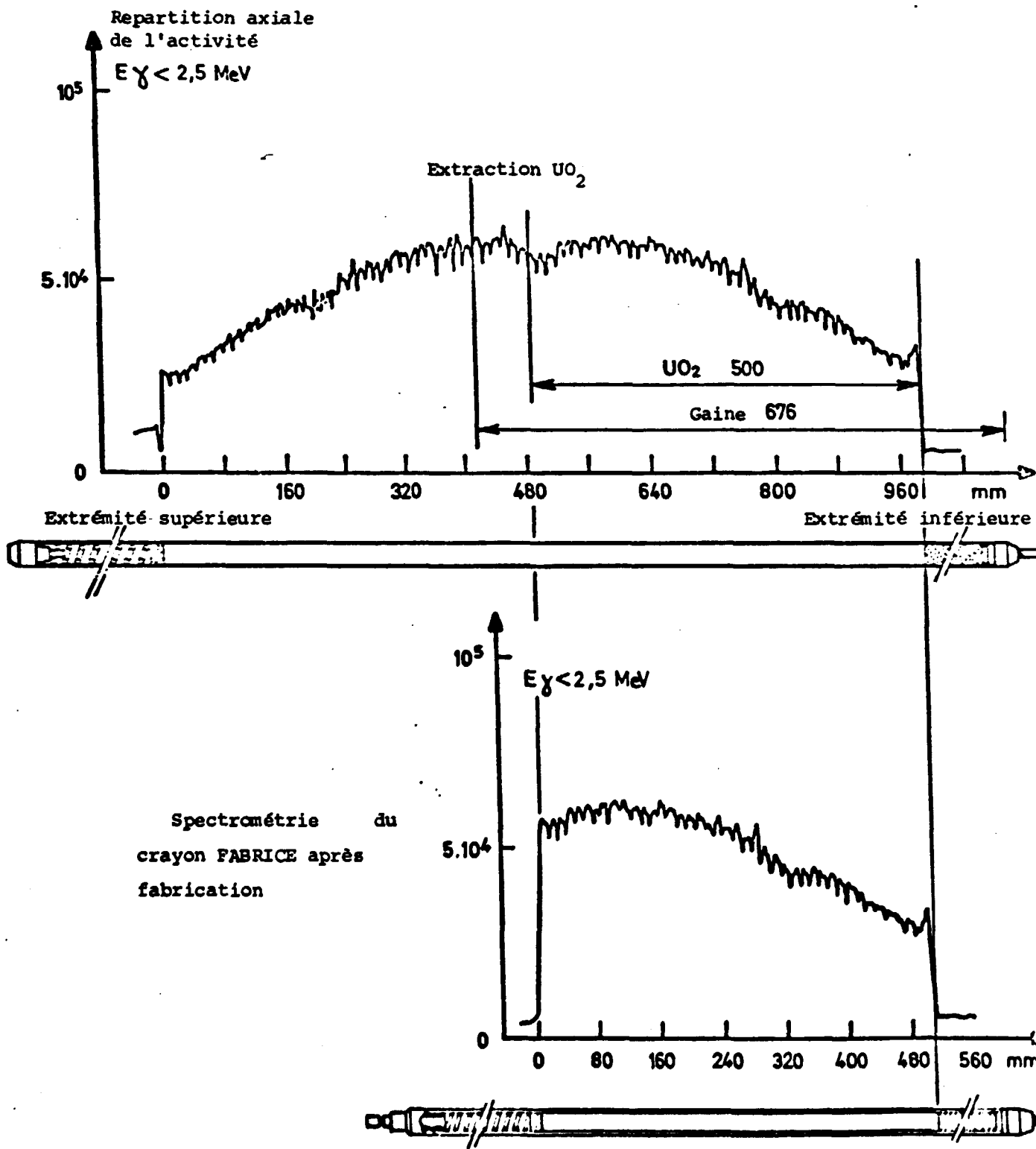
Fig. 1



- 1 Groupe de pompage
- 2 Bouteille d'hélium ou de mélange gazeux
- 3 Filtres "poral"
- 4 Piège à sorption
- 5 Spectro-hélium
- 6 Hygromètre
- 7 Bouteilles d'argon
- 8 Générateur de soudage
- 9 Enregistreur potentiométrique

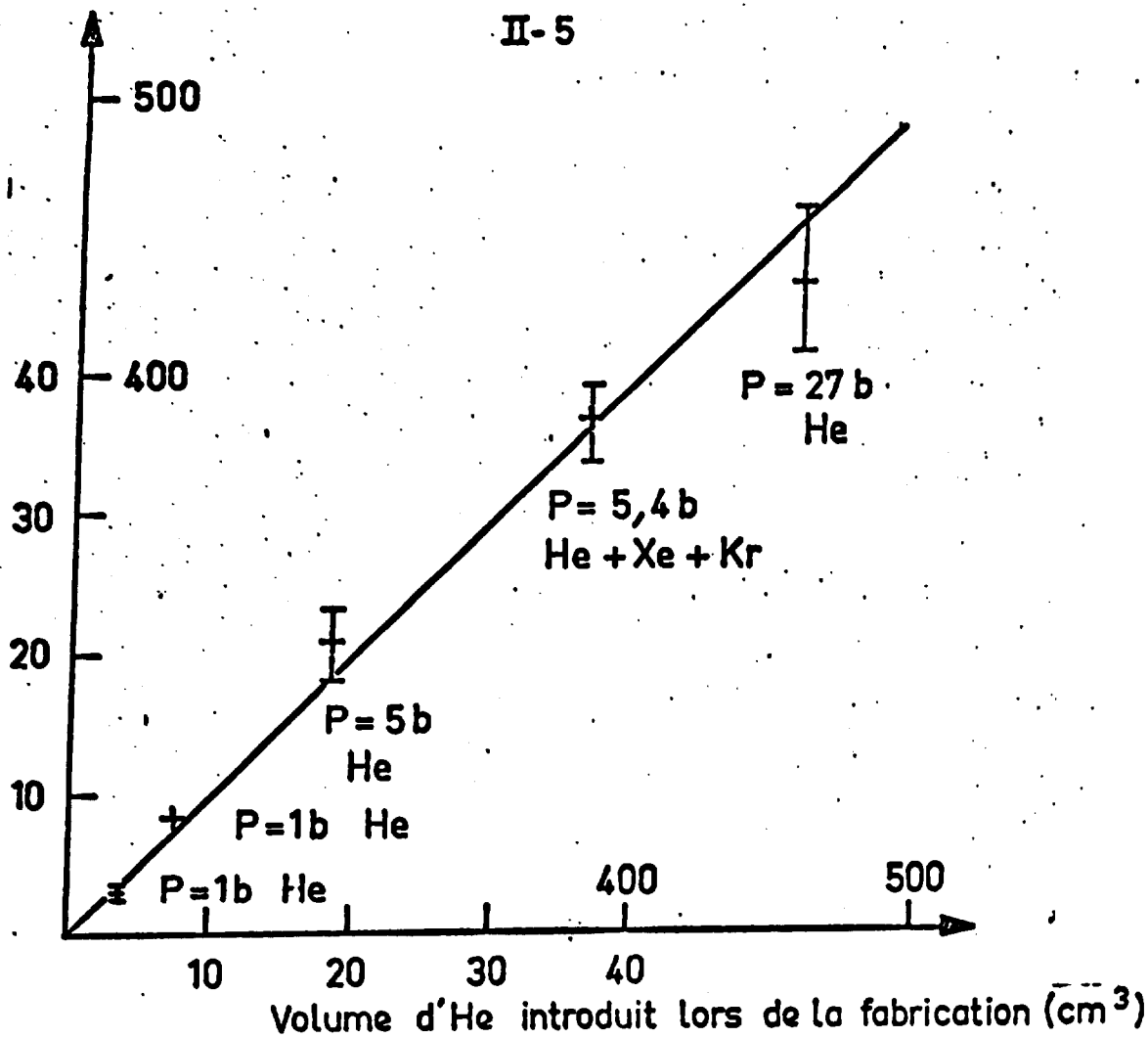
Fig. 2

Spectrométrie du Crayon de Prélèvement



II-5

Volume d'He après perçage du crayon fabriqué (cm<sup>3</sup>)



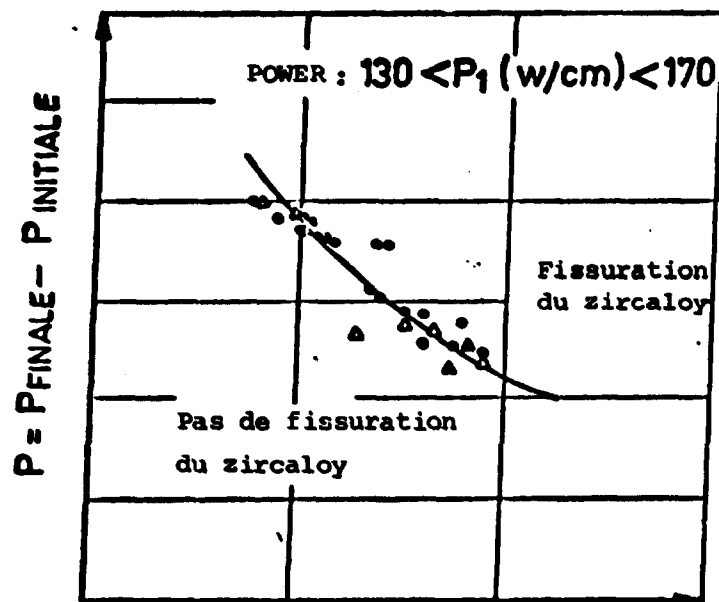
608 : 45179 - 6 - 02

Figure 4

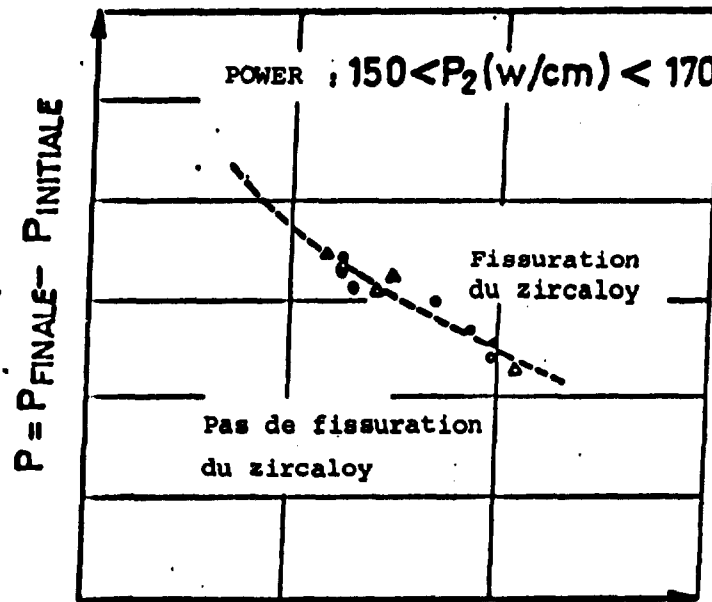
Comparicon des Résultats des Expériences sur Crayons Entiers (PRISCA) et Refabriqués (FABRICE)

▲ ▲ PRISCA  
● ● FABRICE

noir: crayon rompu  
blanc: crayon non rompu



Combustion Massique



Combustion Massique

Résultats - Les temps d'affaiblissement de sauts de puissance similaires ont environ la même valeur pour des crayons entiers et pour ceux refabriqués.