

PENELOPE 3

DISPOSITIF POUR MESURER LA TEMPERATURE AU COEUR
D'UN COMBUSTIBLE A FORT TAUX DE COMBUSTION A
L'AIDE DE THERMOCOUPLES RECHANGEABLES.

R.Caracchini,G.Cosoli,G.Leter ENEA-CRE-CASACCIA

A.Besson,G.Dupont

CEA-CEN-GRENOBLE

Rapport presente' a'la 25me reunion plénière du
group de travail "Laboratoires chauds et télémnipu-
lation".

Brasimone 21-22 mai 1986

primo - Beniam /

Minutab

1. AVANTPROPOS

Ce rapport a pour objet l'analyse du déroulement et des premières résultats fournis par une expérience d'irradiation conduite dans le réacteur SILOE (Centre d'Etude Nucleaire de Grenoble, CEA) pour étudier le comportement thermique à taux de combustion moyen, d'un crayon combustible en géométrie FBR.

Le dispositif expérimental a été mis au point par le service des Piles du CEN-Grenoble dans le cadre d'une collaboration Franco-Italienne pour la qualification d'un combustible à oxyde mixte fabriqué suivant la méthode non standard GSF /1/.

Pendant l'irradiation, à cause d'une rupture du thermocouple à cœur du combustible, pour continuer le programme d'irradiation, un certain nombre d'interventions ont été conduites dans la cellule chaude près du réacteur SILOE, pour le remplacement du thermocouple.

2. INTRODUCTION

Le niveau des connaissances du comportement thermique, acquis expérimentalement, peut être considéré suffisant au début de vie ; par contre, la connaissance à moyen taux de combustion peut être considérée moins bonne. La raison principale est liée à la réduite fiabilité et durée des thermocouples pour haute température sous l'effet du flux neutronique et de la température même.

La possibilité de mesurer l'évolution de la température centrale du combustible en fonction de la puissance linéaire et du taux de combustion dépend de l'utilisation de thermocouples qui subissent une décalibration limitée et de la possibilité de remplacement en cas de rupture.

Le Service des Piles du CEN-Grenoble a mis au point un dispositif d'irradiation pour étudier le comportement thermique d'un crayon combustible d'hauteur réduite en géométrie LWR ou FBR, ayant les suivantes caractéristiques /2/ :

- utilisation d'un thermocouple mobile pour la mesure de la température au cœur du combustible.
- possibilité de démontage et remontage du dispositif en cellule chaude pour l'éventuelle remplacement du thermocouple.

Le dispositif a été utilisé pour la mesure de la température en fonction de la puissance et son évolution dans le temps, dans une aiguille avec deux types de combustible en comparaison ; en outre avec ce dispositif on peut mesurer le profil axiale de la température au cœur.

3. DESCRIPTION DE L'ENSEMBLE EXPERIMENTAL

On peut schématiser l'ensemble expérimental dans la façon suivante :

- a) crayon combustible
- b) thermocouple mobile et équipement de liaison
- c) dispositif d'irradiation

a) Crayon combustible

L'expérience est destinée à comparer le comportement thermique de deux combustibles fabriqués par une méthode "standard" (mélange mécanique) et GSP (Gel Supported Precipitation).

L'échantillon est composé par un tube de gaine (AISI 316 M) qui contient les deux types de combustible selon le schéma en fig.1.

La partie inférieure de la colonne combustible est composée par un empilement des pastilles planes partagées dans les deux types du combustible; la partie supérieure, elle-même divisée en deux, est un empilement des pastilles percées : dans le trou central est logé un minitube en Rénium, étanché en bas et brisé en haut sur le bouchon supérieur, destiné à loger le thermocouple mobile pendant la mesure du profil axial de température.

Les caractéristiques de la colonne fissile sont décrites dans la table I.

b) Thermocouple mobile et équipement de liaison

Le thermocouple mobile (W/WRe 5% - W/WRe 26%) est

lie', parmis une perche de liaison a' une vis a' billes liee a' un moteur qui permet le mouvement en haut et en bas ; on peut facilement acceder au raccord entre la perche de liaison et la vis a' billes a' travers un couvercle etanche place' sur la partie superieure du dispositif.

Un soufflet metallique intermediaire entre la perche de liaison et la paroi interne du dispositif assure une double enceinte pour les PF (la première est le minitube en Rhenium).

Normalement , pendant l'irradiation , le point chaud du thermocouple se trouve en haut , hors de la colonne fissile , la ou' la temperature est inferieure a' 250 C.

c) Dispositif expérimental (Fig.2)

La partie inferieure du dispositif d'irradiation est essentiellement un four CYRANO /3/, dans le quel , au niveau du crayon combustible est logée l'instrumentation pour la mesure de la puissance degagée et pour la détermination de la temperature exterieure de la gaine.

Dans la partie superieure est place' l'équipement pour le mouvement du thermocouple. Les deux parties sont connectées par deux raccordements étanches et peuvent être déconnectées de facon de arriver a' l'équipement mobile du thermocouple pour un eventuel remplacement.

4. PROGRAMME D'IRRADIATION

Le dispositif expérimental est placé dans une boîte à eau montée sur une guide dans le réflecteur du réacteur SILOE. On peut varier la puissance de l'aiguille en changeant la distance de la boîte du cœur du réacteur. L'irradiation, prévue en plusieurs cycles de SILOE (21 jours), pour chaque cycle est programmée de la façon suivante :

- montée à puissance (6-8 paliers)
- irradiation à puissance constante (environ 450 w/cm)
- baisse de puissance (6-8 paliers)

Pour chaque palier de puissance on a mesuré le profil axial de la température au cœur du combustible, et, selon intervalles réguliers, pendant l'irradiation à puissance constante. Normalement le thermocouple occupe la position en haut (hors du crayon) pour réduire la possibilité de rupture due à la haute température.

L'expérience a été précédée par une courte période (3 jours) d'irradiation à puissance limitée (250 w/cm) pour étalonner le système de mesure de la puissance et mesurer sa répartition dans les quatre types de combustible. La méthode consiste dans la mesure de la quantité de PF produits, dans les trois jours, à puissance constante, par γ -scanning /4/.

Dans la fig. 3 est tracée la distribution axiale d'un de ces PF mesurés (Zr-95) dans laquelle est possible reconnaître les différents types de combustible dans la colonne fissile.

5. MESURE DU PROFIL AXIAL DE LA TEMPERATURE

Pendant la preirradiation du crayon on a fait plusieurs mesures du profil axial de la temperature (fig. 4). On peut noter le fort gradient axial au niveau de la cale isolante en UO₂ naturel et la visible separation entre les deux types de combustible; il faut noter encore, la suffisant bonne reproductibilite' des mesures relevees en descendant et en remontant le thermocouple.

Pendant le premier cycle effectif d'irradiation les mesures de la temperature ont mis en evidencé un mauvais fonctionnement du systeme de mesure comme l'on peut voir dans deux paliers de puissance successifs (figg.5,6).

Les anomalies, observées même dans les mesures faites ensuite, ont été attribuées a' une ropture des fils du thermocouple ou dans le systeme de liaison; cette hypothèse a été confirmée par les mesures de résistance et d'isolement faites apres. Pour continuer l'irradiation on a eu besoin de remplacer l'ensemble thermocouple-perche de liaison avec un autre nouveau et identique; comme le dispositif avait déjà subit une période d'irradiation ,une partie des travaux ont été effectues dans la cellule chaude pres du reacteur.

6. REMPLACEMENT DU THERMOCOUPLE

Les operation nécessaires a' remplacer le bloc thermocouple-perche de liaison ont été effectuées en partie au bord piscine et en partie dans la cellule chaude pres du reacteur SILOE.

Au bord piscine du reacteur, la partie active du dispositif plongée dans l'eau, ont été effectuées les operations suivantes (voir fig.2):

- ouverture du couvercle étanche pour déconnecter la perche de liaison du mécanisme de mouvement,
- déconnexion de la partie superieur du dispositif d'irradiation pour mettre en evidence la perche de liaison,
- transfert de la partie du dispositif qui reste dans la cellule chaude.

Les operations effectuées en cellule (schema en fig.7) sont les suivantes:

- transfert du dispositif dans le trou pres du banc de manipulation,
- extraction, a' l'aide des télémanipulateurs, de l'ensemble thermocouple-perche de liaison,
- coupe de ce dernier en morceaux et mise au déchets,
- extraction du dispositif du tube et rentrée dans l'eau de la piscine.

Ce qui reste des operations , introduction d'un nouveau ensemble thermocouple-perche et fermeture du dispositif, ont été effectuées au bord piscine.

7. ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'irradiation a été reprise après l'intervention en cellule selon le programme établi précédemment. Jusqu'à aujourd'hui sont disponibles les données de trois cycles de irradiation.

Dans la fig. 8 sont tracés les profils axiaux de température relevés à différents niveaux de puissance. La qualité des traces est la même des celles tracées avant l'intervention. On peut déterminer des zones à température suffisamment constante pour la quelle on peut considérer négligeables les effets de bord.

Dans la fig. 9 il-y-a la variation de la température avec la puissance pour trois cycles; on peut observer que les valeurs des températures mesurées avant intervention sont en très bon accord avec les mesures prises après. On peut dire, donc, que les caractéristiques des deux thermocouples utilisées sont comparables.

Les résultats ne sont pas encore interprétés en terme de modèle de comportement thermique; qualitativement la température plus élevée du combustible "standard" semble-t-il être liée à la faible densité (91% DT) de celui-ci par rapport au combustible GSP (94.8% DT).

Pour mieux comprendre les résultats, on a fait plusieurs neutronographies en temps différents pour essayer de mettre en corrélation le comportement thermique avec le comportement dimensionnel.

En particulier , a' cause de la faible densite' du combustible "standard" il est possible un raccourcissement de la colonne fissile par densification. Sa detection et sa mesure sont liees a' la possibilite' d' identifier dans les neutronographies deux points de repere caracteristiques dont la distance, considerée constante , peut être prise pour la normalisation.

8. CONCLUSIONS

La première partie de l'expérience a permis d'évaluer l'efficacité des solutions techniques du projet du dispositif et de la séquence des interventions mises en œuvre pour remplacer le thermocouple actif cassé pendant l'irradiation.

En particulier le résultat positif des opérations effectuées, est confirmé par l'accord entre les profils de température relevés avant et après le passage en cellule chaude.

Les données expérimentales permettent de comparer le comportement thermique de deux types de combustibles à oxyde mixte fabriqués par méthodes différentes; en plus la mesure du profil axial de la température permet d'évaluer le gradient axial à l'interface entre colonne fissile et cale isolante en UO_2 naturel.

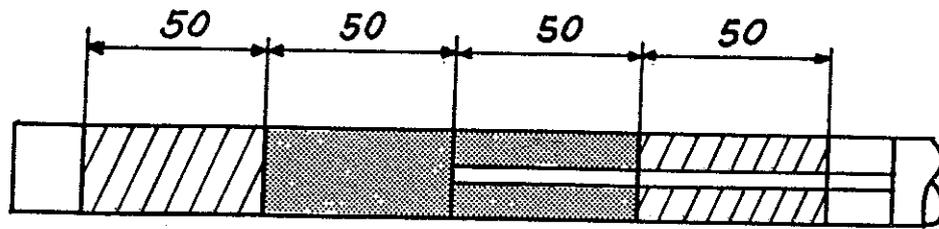


FIG. 1



TAB. 1

Gaine

<i>Matière</i>	<i>AISI 316M</i>
ϕ extérieur mm	6,7
ϕ intérieur mm	5,8

Combustible

<i>Pastille</i>	<i>pleine / percée</i>
ϕ pastille	5,6
ϕ trou	2,0
<i>h. colonne fissile</i>	200
<i>Densité GSP % DT</i>	94,8
<i>Densité Std % DT</i>	91
<i>Enrichissement en Pu %</i>	20
<i>Rapport O/M</i>	1,97

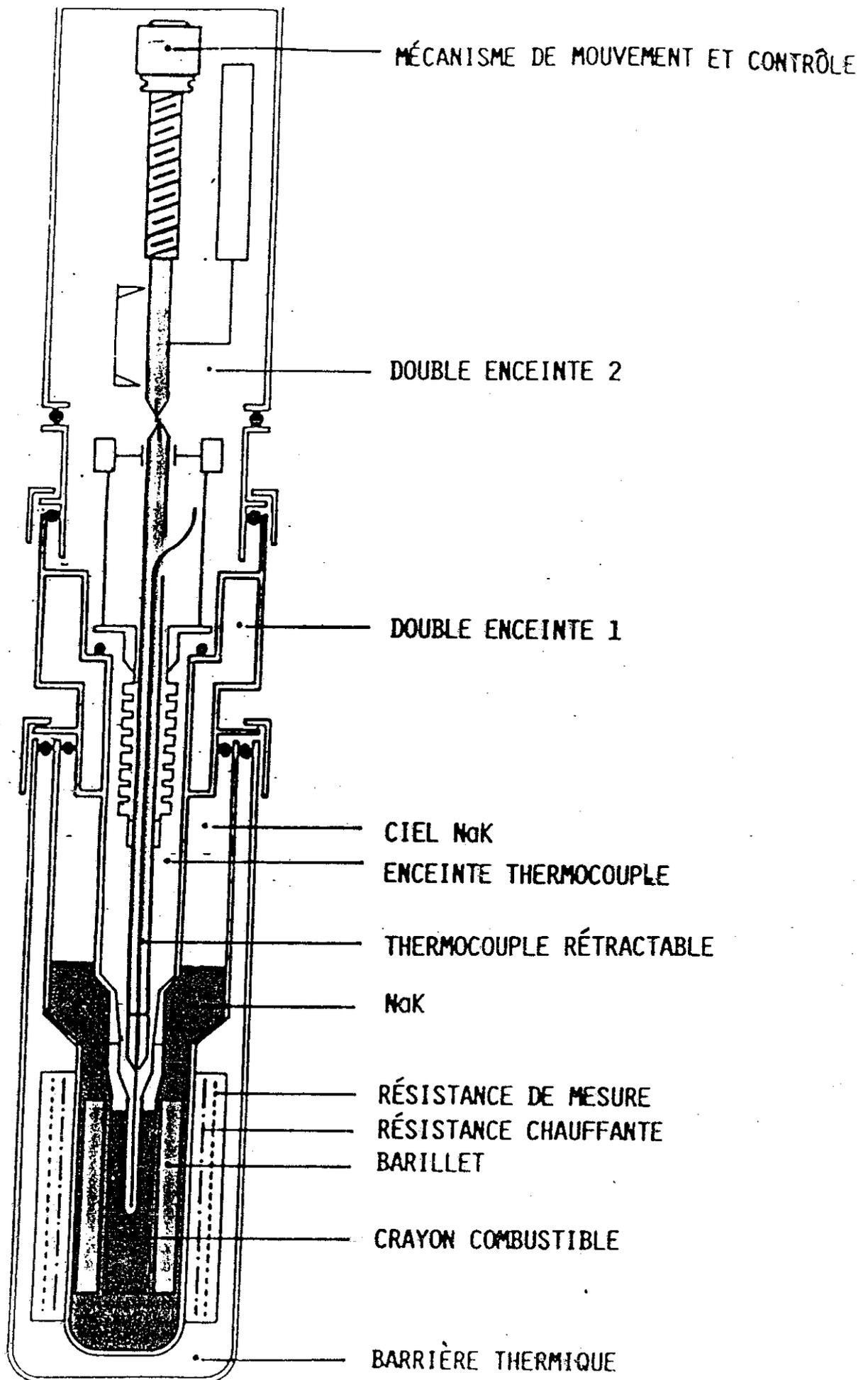


FIG. 2

FIG. 3

95 ZR

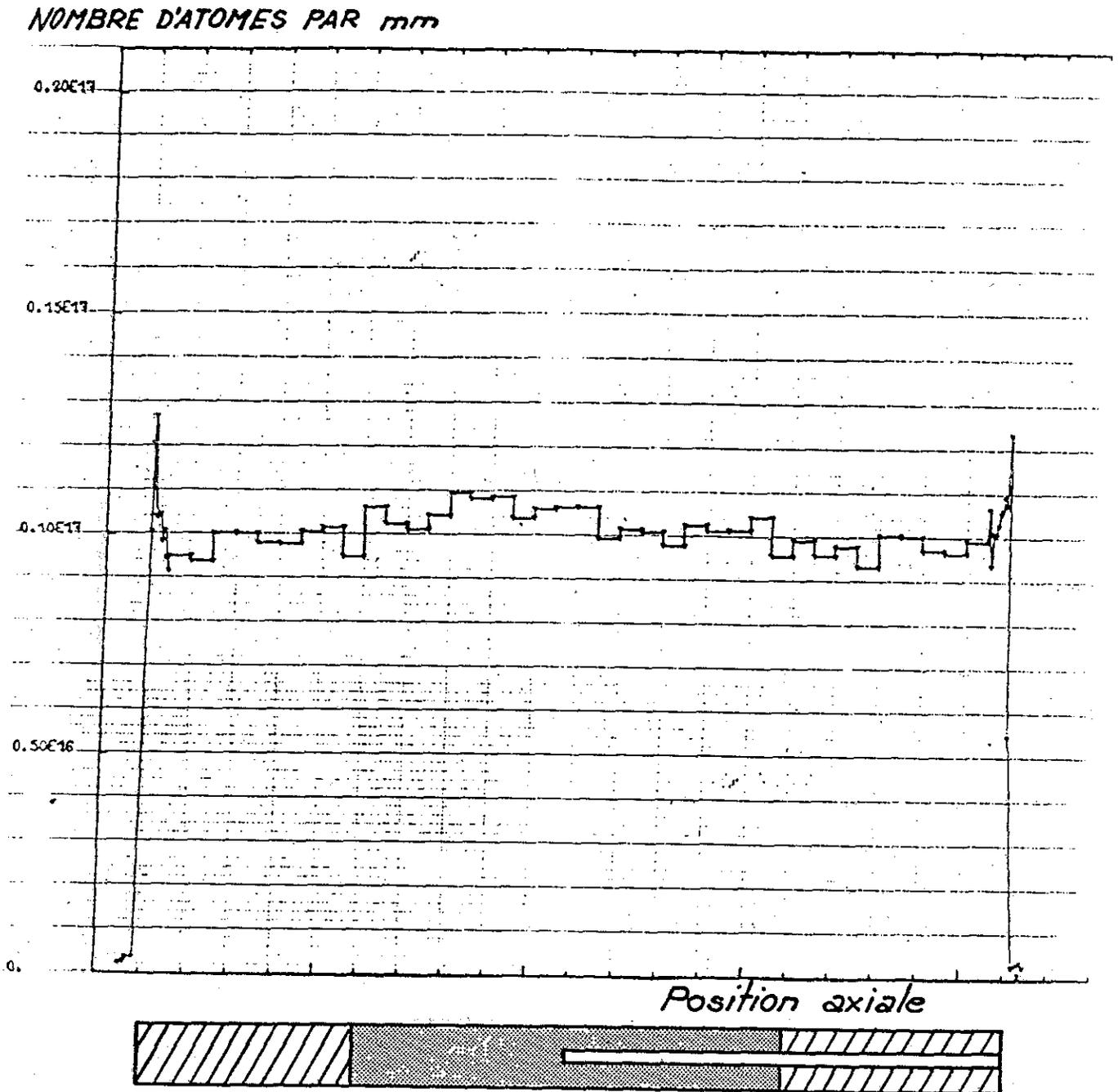


FIG. 4

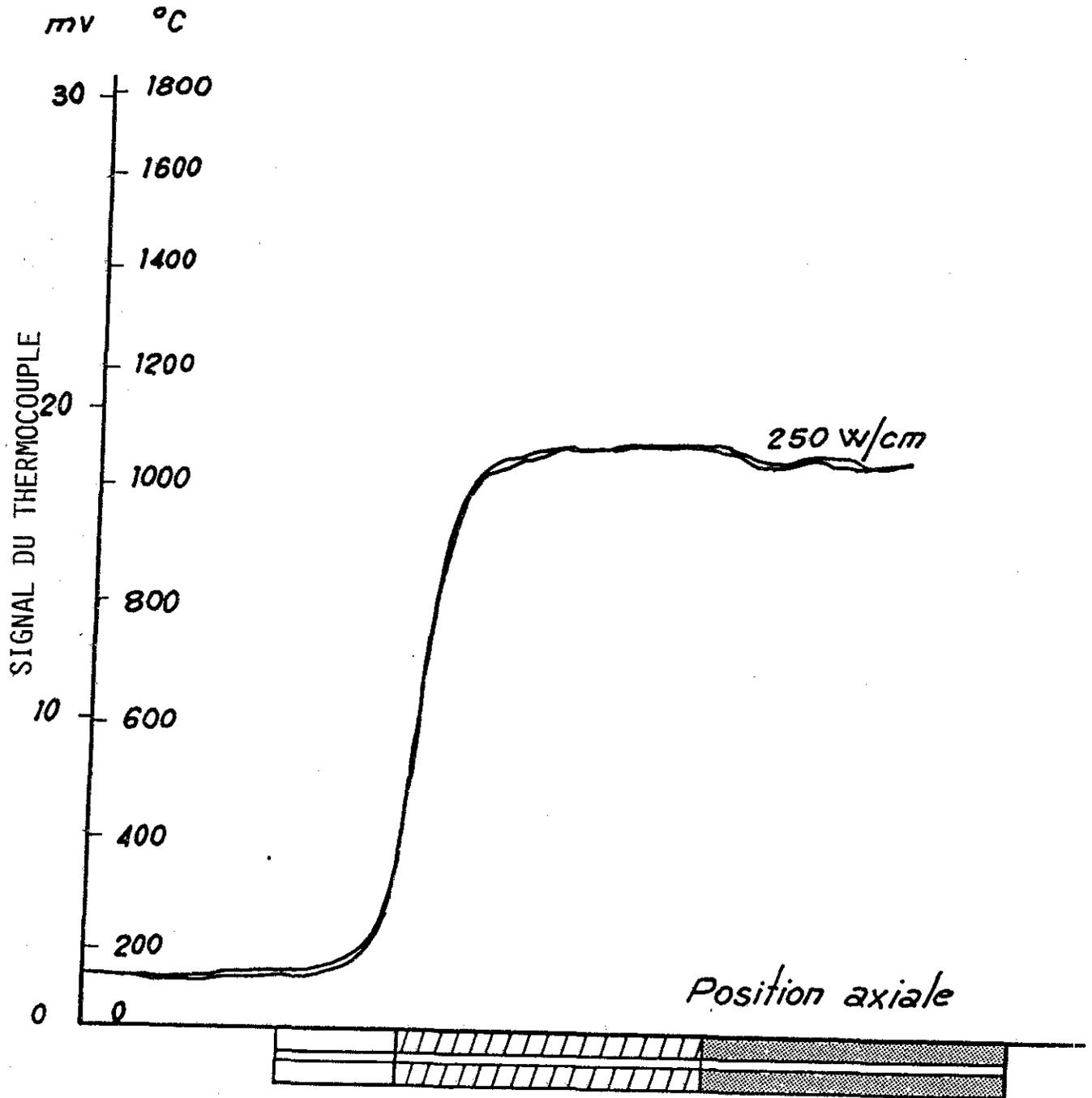


FIG. 5

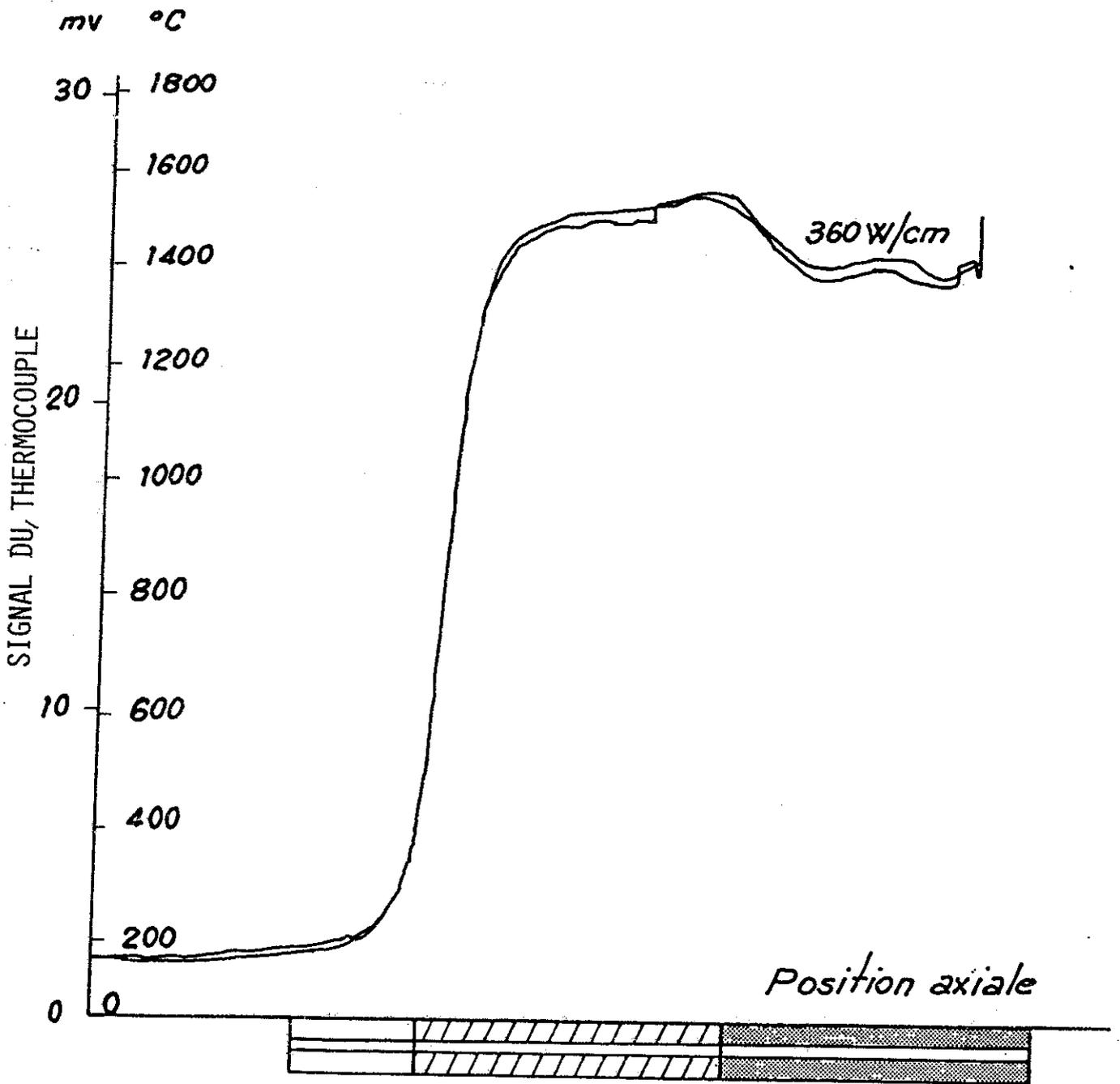


FIG. 6

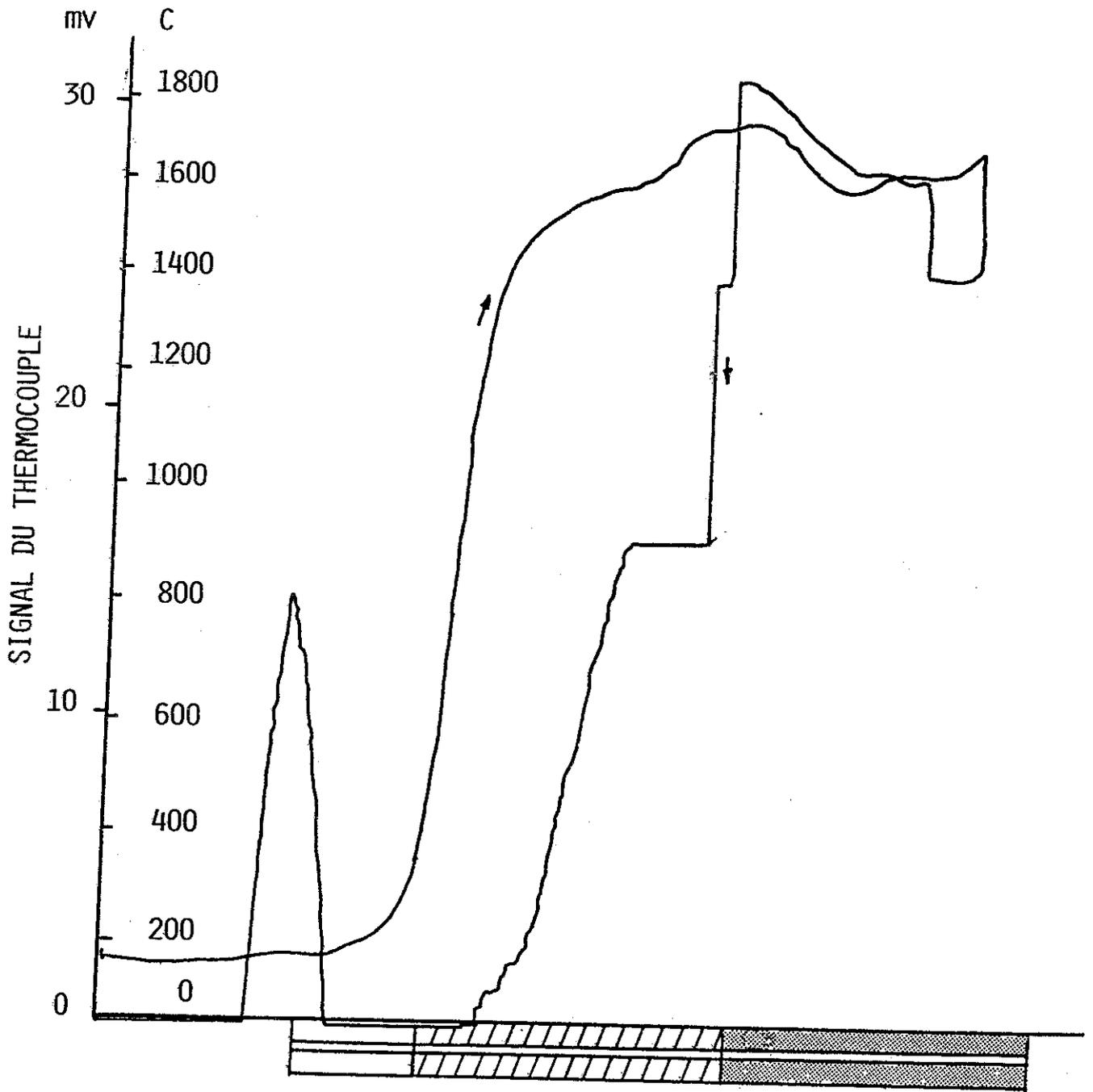


FIG. 7

COUPE INTERIEURE DE LA CELLULE

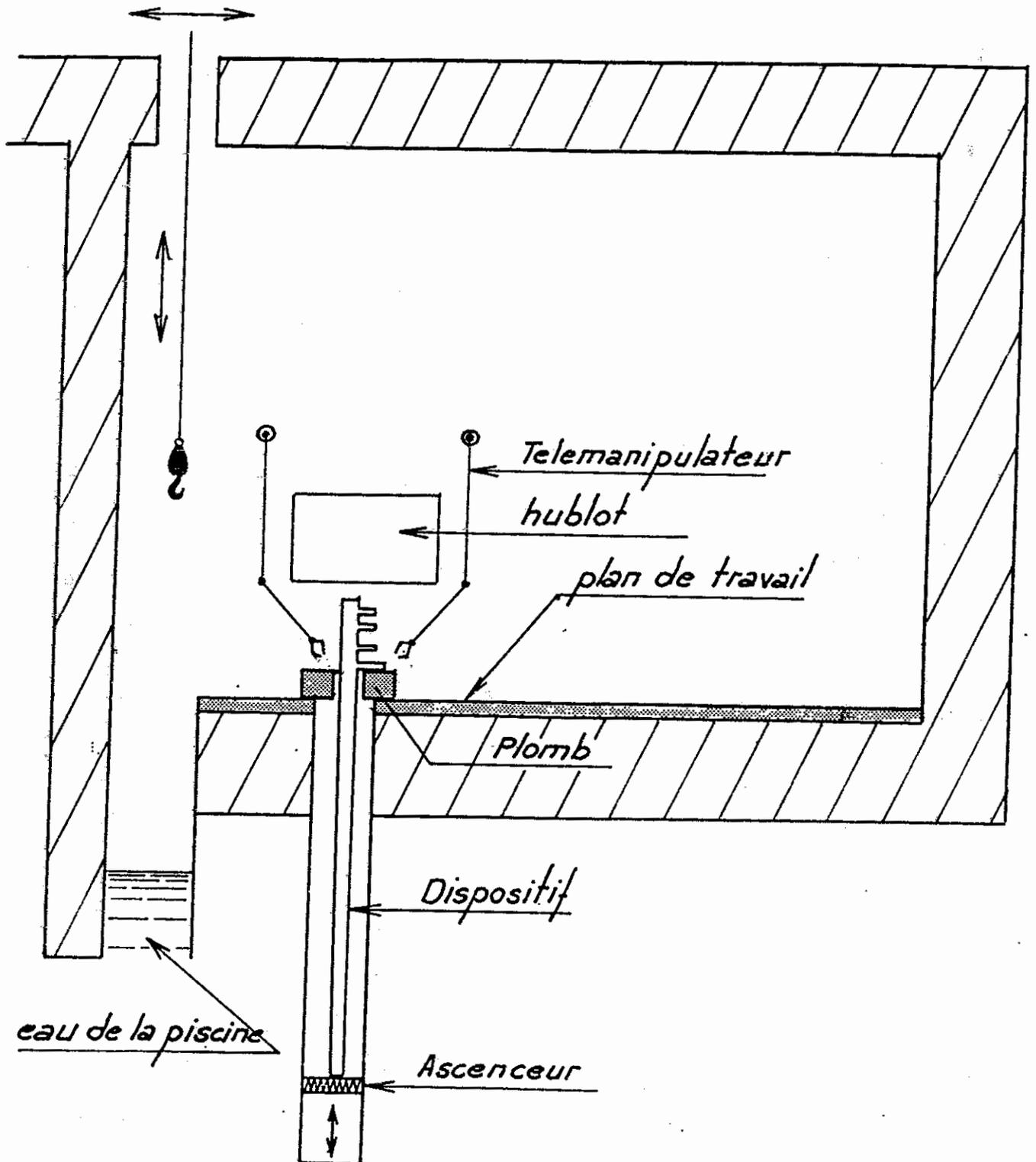


FIG. 8

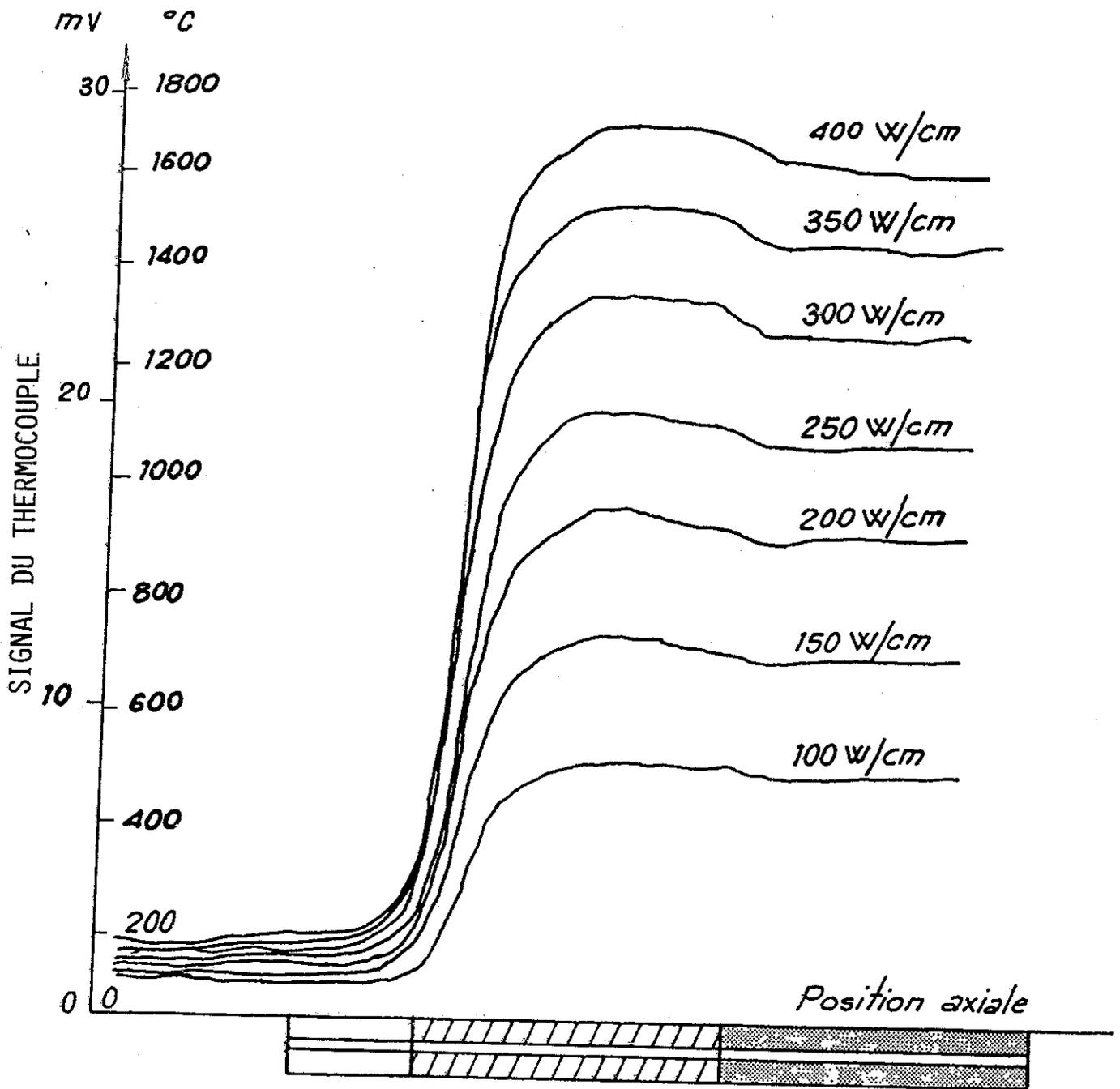
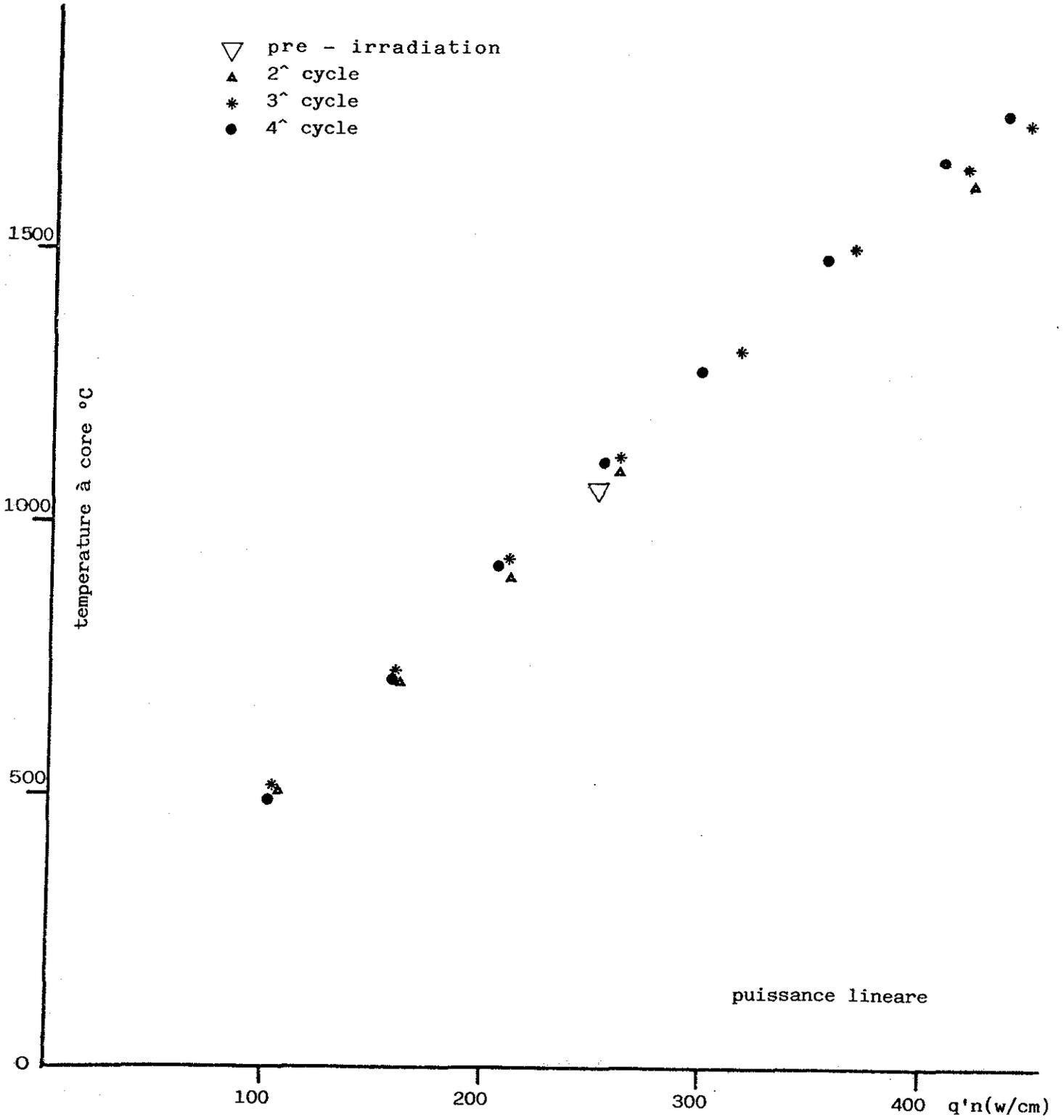


FIG. 9



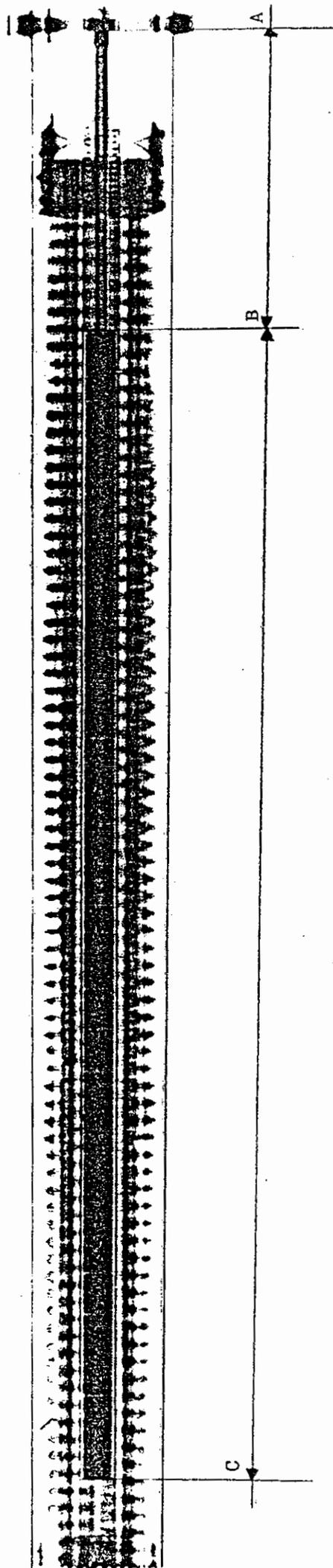


FIG. 10

$$BC = AC - AB$$

BC = crayon combustible

A = reference

B = debut du crayon

C = fin du crayon

REFERENCES

- /1/ G.Marinucci, A.Nobili, M.Lanchi, R.Caracchini (ENEA)
G.Dupont, J.Galtier (CEA)

PROGRAMME DE PREQUALIFICATION EN PILE D'UN COMBUSTIBLE
A OXIDE MIXTE FABRIQUE PAR UN NOUVEAU PROCEDE (GSP)

"IRRADIATION TECHNOLOGY" Proceedings of an International
Topical Meeting, Grenoble (France) Sept 28-30, 1982

- /2/ A.Calza-Bini, E.Pesce, A.Besson, G.Dupont

MESURE EN PILE DE LA TEMPERATURE D'UN COMBUSTIBLE JUSQU'A
UN TAUX DE COMBUSTION ELEVE: "EXPERIENCE PENELOPE 1"

26THth Plenary Meeting of the Euratom Irradiation Devices
Working Group, Oct 1980, Geesthacht

- /3/ "CAPSULE CYRANO"-METHODE DE MESURE CALORIMETRIQUE DE LA
PUISSANCE EXTRAITE D'UN CRAYON COMBUSTIBLE

CENG-Pi/SEDTI 170-135/72

- /4/ B.Gleizes: Penelope 3, Compte rendu d'examen gammamétrie

CENG-Pi/SEREG/923-380/84