

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses
Division de Métallurgie et d'Etude des Combustibles Nucléaires
Département d'Etudes des Combustibles à Base de Plutonium

**INCINERATION DE STIMULATEURS CARDIAQUES RADIOISOTOPIQUES
(Sources STO_1)**

par

**René BOUCHER, Alain CHICHEPORTICHE, Pierre PLUCHART,
Jean-Jacques QUILICO**

CEA-N-1765 - BOUCHER René, CHICHEPORTICHE Alain, PLUCHART Pierre,
QUILLICO Jean-Jacques

INCINERATION DE STIMULATEURS CARDIAQUES RADIOISOTOPIQUES (Sources ST0₁)

Summary. - Pour être en conformité avec les dernières spécifications de l'Agence de l'O.C.D.E. pour l'Energie Nucléaire (1300°C - 90 minutes sous flux d'air) de nouveaux essais d'incinération ont été entrepris. De nouvelles sources ont été mises au point (version ST0₁); elles comportent un combustible à base d'oxyde de plutonium 238 et un triple gainage. Les essais ont été effectués sur des stimulateurs cardiaques conformes au modèle commercial et comportant des sources avec ²³⁹Pu O₂ sans pression ou avec UO₂ plus pression interne d'hélium (12 ans de vie). La gaine externe en tantale assure une protection très efficace (contre l'action du tellure de bismuth des thermoéléments) et permet de conserver intacte les deux gaines internes.

1974

35 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-N-1765 - BOUCHER René, CHICHEPORTICHE Alain, PLUCHART Pierre,
QUILLICO Jean-Jacques

INCINERATION OF RADIOISOTOPIC HEART PACEMAKERS

Summary. - New incineration tests have been undertaken in compliance with the latest specifications of the O.E.C.D. Nuclear Energy Agency (1300°C - 90 minutes - in air flow). New sources have been developed (version ST0₁) triple clad and containing a fuel based on plutonium 238 oxide. Tests have been carried out on heart pacemakers conformable to the commercial model and containing sources of ²³⁹Pu O₂ without pressure or UO₂ with internal helium pressure (lifetime 12 years). The tantalum outer cladding provides very efficient protection (against the action of the thermoelement bismuth telluride) and keeps the two inner claddings intact.

1974

35 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

Note CEA-N-1765

DESCRIPTION-MATIERE (mots clefs extraits du thesaurus SIDON/INIS)

en français

en anglais

STIMULATEURS CARDIAQUES

CARDIAC PACEMAKERS

SOURCES DE CHALEUR RADIO-ISOTOPIQUES

RADIOISOTOPE HEAT SOURCES

SOURCES SCÉLÉES

SEALED SOURCES

PLUTONIUM 238

PLUTONIUM 238

CAPSULES

CAPSULES

SECURITE

SAFETY

RESISTANCE AU FEU

FIRE RESISTANCE

- Note CEA-N-1765 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses
Division de Métallurgie et d'Etude des Combustibles Nucléaires
Département d'Etudes des Combustibles à Base de Plutonium

INCINERATION DE STIMULATEURS CARDIAQUES RADIOISOTOPIQUES
(Sources ^{241}Am)

par

René BOUCHER, Alain CHICHEPORTICHE, Pierre PLUCHART,
Jean-Jacques QUILJICO

SOMMAIRE

I -	<u>Introduction</u>	page 1
1.1.	Généralités	page 1
1.2.	Caractéristiques de la source radioisotopique	page 1
1.2.1.	Constitution de la source STO_1	page 1
1.2.2.	Le combustible	page 2
1.2.3.	Le gainage	page 2
1.3.	Critères de sécurité	page 2
II -	<u>Description de l'installation d'incinération des stimulateurs</u>	page 4
2.1.	Dispositif de chauffage par induction	page 4
2.2.	Détermination de la température	page 4
2.3.	Dispositif de protection thermique	page 5
2.4.	Circulation des gaz	page 5
2.5.	Mesure du débit d'air au niveau du stimulateur	page 5
III -	<u>Position du stimulateur durant l'incinération</u>	page 6
IV -	<u>Incinération de stimulateurs</u> (sources avec $^{239}\text{Pu O}_2$ sans pression interne)	page 7
4.1.	Incinération du stimulateur n° 4R0201N	page 7
4.1.1.	Description des composants du stimulateur	page 7
4.1.2.	Conditions de l'essai	page 7
4.1.3.	Résultats	page 7
4.2.	Incinération du stimulateur n° 4R0207N	page 8
4.2.1.	Description des composants du stimulateur	page 8
4.2.2.	Conditions de l'essai	page 8
4.2.3.	Résultats	page 9
V -	<u>Incinération du stimulateur n° 4R0054N</u> (source avec UO_2 et pression interne)	page 10
5.1.	Description des composants du stimulateur	page 10
5.2.	Conditions de l'essai	page 10
5.3.	Résultats	page 11
VI -	<u>Analyse des résultats</u>	page 12
VII -	<u>Conclusion</u>	page 14

I - INTRODUCTION

1.1. GENERALITES

Un stimulateur cardiaque est un dispositif implantable conçu pour émettre des impulsions électriques destinées à stimuler le cœur. Le stimulateur radioisotopique comporte une batterie, des circuits électroniques noyés dans une résine époxy, un boîtier en titane étanche (figure 1).

La batterie ou générateur thermoélectrique est la source d'énergie électrique ; elle comprend notamment :

- la source radioisotopique,
- un système de conversion de l'énergie calorifique en énergie électrique.

La source radioisotopique est constituée par le combustible, au sein duquel se produit le dégagement de chaleur, et une ou plusieurs enveloppes de sécurité appelées capsules qui garantissent le confinement du combustible. Ce dernier est à base de plutonium 238.

Le système de conversion est constitué par des thermocouples en tellurure de bismuth ($\text{Te}_3 \text{Bi}_2$). L'ensemble de la source et des thermocouples est entouré d'un isolant thermique à base de silice et placé dans une enveloppe en titane soudée hermétiquement d'où sortent des conducteurs électriques.

1.2. CARACTERISTIQUES DE LA SOURCE RADIOISOTOPIQUE

1.2.1. CONSTITUTION DE LA SOURCE STO_1

La source STO_1 est dérivée de la source STA [1] [2] [3] qui était composée du combustible $^{238}\text{Pu Sc}$ et de deux enveloppes de sécurité assurant le confinement du plutonium :

- capsule interne, en tantale, carburée intérieurement.
- capsule externe, en platine iridium (20 % en poids Ir).

La source STO_1 comprend :

- le combustible sous la forme d'un oxyde de plutonium 238.
- trois enveloppes de sécurité :
 - capsule interne en tantale
 - capsule intermédiaire en platine iridium
 - capsule externe en tantale
- un tube interne en tantale maintenant en place la pastille de combustible.

Le schéma de la source est présenté sur la figure 2.

1.2.2. LE COMBUSTIBLE

L'obligation d'avoir pour chaque source un débit de fluence neutronique inférieur à 1000 neutrons par seconde a imposé la mise au point de séquences de fabrication extrêmement bien définies.

L'opération de frittage est effectuée à haute température, sous atmosphère réductrice et conduit à un oxyde dont la stoechiométrie moyenne est $\frac{O}{Pu} = 1,90$. La densité géométrique est $9,20 \pm 0,10 \text{ g cm}^{-3}$.

1.2.3. LE GAINAGE

- La capsule interne est en tantale d'épaisseur 1 mm.

La surface interne de la capsule n'est pas carburée, contrairement aux sources STA où il était nécessaire de le faire pour éviter une diffusion de l'alliage plutonium-scandium liquide à 1300°C.

Avec l'oxyde de plutonium et en particulier avec un oxyde sous stoechiométrique il n'y a pas de risque de réaction avec le tantale à 1300°C.

La capsule interne est soudée, sous vide, par bombardement électronique.

- La capsule intermédiaire, en platine à 20 % en poids d'iridium, a une épaisseur de 1 mm. Elle est soudée par argon arc (procédé T.I.G.).

- On a montré antérieurement [4] que l'adjonction d'une troisième gaine en tantale permettait de protéger le platine-iridium de l'attaque du tellure de bismuth. On a cependant constaté qu'il était nécessaire de prévoir un certain jeu entre la gaine intermédiaire et la gaine externe pour éviter, dans certains cas, une rupture de cette dernière, à la fin du palier d'incinération.

La capsule externe en tantale a une épaisseur de 0,5 mm. Elle est soudée, sous vide, par bombardement électronique. Un jeu latéral existe entre la gaine externe et la gaine intermédiaire ; il est compris entre 0,1 et 0,25 mm (sur le diamètre) compte tenu des tolérances sur les gaines.

1.3. CRITERES DE SECURITE

L'Agence de l'O.C.D.E. pour l'Energie Nucléaire a étudié et publié un ensemble de normes destinées à assurer une harmonisation des mesures, techniques et administratives, à prendre pour permettre une utilisation sûre, à l'échelle internationale, des stimulateurs cardiaques radioisotopiques.

Le plus difficile des essais est celui relatif à la tenue à l'incinération (température 1300°C) sous atmosphère oxydante car les divers éléments constituant les thermoéléments (tellure, bismuth, sélénium, anti-moine) sont corrosifs, - en particulier vis à vis du platine. Ceci a motivé l'adjonction d'une troisième gaine autour de la gaine en platine iridium des sources STA lorsque le temps d'essai imposé est passé de 30 minutes à 90 minutes.

La spécification de l'A.E.N. est la suivante [5] :

Le fabricant devra au moyen d'une série d'essais métallurgiques, d'étanchéité, de compatibilité, de pression à haute température et d'autres essais appropriés, fournir la preuve aux autorités nationales compétentes que le stimulateur peut à tout moment, au cours de la vie utile de la batterie, résister à une épreuve d'incinération comportant un cycle de deux heures, dans une atmosphère oxydante, au cours duquel la température minimale sera de 800°C et devra être maintenue pendant au moins 90 minutes à 1300°C.

Pour réaliser cet essai, la pression interne de la capsule de combustible devra correspondre à la pression maximale qui est susceptible d'être atteinte pendant la durée de vie utile de la batterie*.

Une autre solution pourra consister à maintenir la pression interne de la capsule de combustible placée à l'intérieur du stimulateur au niveau où elle se trouvait initialement, à l'issue de la phase de fabrication, compte tenu des modifications naturelles ultérieures. Dans ce cas, on s'assurera, grâce à des essais de pression interne suivis d'extrapolations, d'une analyse de la structure et d'examens, que la capsule n'aurait donné lieu à aucune fuite de combustible si l'essai avait été réalisé en portant la pression interne au niveau maximum susceptible d'être atteint (à 1300°C) pendant la durée de vie utile de la batterie.

Les vitesses d'échauffement et de refroidissement seront enregistrées. Un essai d'étanchéité aux fuites sera réalisé sur l'enceinte de confinement.

Pour des raisons d'ordre pratique, l'essai d'incinération portant sur une capsule de combustible pressurisée et l'essai de pression interne pourront être réalisés en utilisant une source à combustible factice, sous réserve que l'on ait démontré à l'aide d'une autre méthode que le combustible et la capsule, ou l'enceinte de confinement, ne présentent pas d'incompatibilité

* Pour la source ST0, la pression maximale à froid est de 35 kg cm⁻² au bout de 12 ans en supposant que tout l'hélium formé dans le combustible se dégage.

II - DESCRIPTION DE L'INSTALLATION D'INCINERATION DES STIMULATEURS

2.1. DISPOSITIF DE CHAUFFAGE PAR INDUCTION

On utilise un générateur haute fréquence de type SEP d'une puissance de 12 KVA. L'inducteur est constitué de spires de cuivre de diamètre 110 mm. Le stimulateur est placé dans un conteneur en graphite revêtu d'une couche protectrice d'alumine déposée par schoopage afin d'éviter l'oxydation du graphite. Le couplage est effectué sur ce conteneur.

2.2. DETERMINATION DE LA TEMPERATURE

Pour la mesure de la température deux solutions étaient envisageables, soit par visée pyrométrique, soit par thermocouple.

La première solution nécessitait de percer les deux écrans thermiques. De plus il y avait un risque important d'obstruction par des résidus de combustion des ouvertures pratiquées, pouvant entraîner des erreurs de mesure compte tenu de la conception de l'installation d'incinération. Il a paru préférable d'abandonner cette méthode.

On a retenu la deuxième solution après avoir vérifié sa précision. Le thermocouple en chromel - alumel gainé dans de l'inconel est placé dans un tube d'alumine bouché à une extrémité afin d'éviter des "claquages" entre l'extrémité du thermocouple et le fond du conteneur dès 3 KV.

Le thermocouple est plaqué contre le stimulateur et son extrémité se trouve placée à la hauteur de la source.

On a également vérifié que les courants haute fréquence (H.F.) ne perturbaient pas la f.é.m. (force électromotrice) délivrée par le thermocouple, au moyen des mesures suivantes :

a) Lorsque la température du conteneur est stable et que la f.é.m. du thermocouple est constante on coupe brutalement la H.F. On ne remarque alors aucune fluctuation de la f.é.m. à l'instant précis de la coupure et au bout de quelques secondes la f.é.m. commence à décroître lentement.

b) L'étalonnage des indications fournies par le thermocouple a été fait avec un pyromètre optique. On note une différence d'une vingtaine de degrés centigrades, au maximum, lié au fait que la paroi du conteneur sur laquelle se fait la visée pyrométrique est plus chaude que le centre du conteneur.

c) On a également utilisé des échantillons métalliques à point de fusion connu. Avec l'or (1063°C) la différence mesurée est de 10°C ; avec l'alliage Au - 85 % Pd (1300°C + 10°C) la fusion est atteinte pour une température mesurée au thermocouple de 1310°C.

2.3. DISPOSITIF DE PROTECTION THERMIQUE

La protection thermique de l'installation est assurée par deux écrans, l'un constitué par une plaque de cuivre, l'autre par une enceinte en cuivre, à double paroi avec circulation interne de quelques litres d'eau par minute.

Figure 3

2.4. CIRCULATION DES GAZ

Le dispositif mis en place doit répondre à 2 exigences :

- permettre une circulation continue d'air à l'intérieur de la boîte à gants et en particulier au niveau du stimulateur afin de pratiquer une incinération sous atmosphère oxydante comme prescrit par l'A.E.N. (voir paragraphe 1.3.).
- refroidir, filtrer et évacuer les gaz chauds (air + gaz de combustion).

L'air frais arrive par le fond du premier écran. Il est ensuite concentré, grâce à une plaque de cuivre percée d'une ouverture, sur le fond du conteneur. Ce dernier est lui-même percé à sa partie inférieure afin de permettre le passage de l'air sur le stimulateur.

Les gaz chauds sont, tout d'abord, refroidis dans un pot échangeur. Ils passent à travers des filtres en amiante et sont évacués dans la partie supérieure de l'installation (voir figure 4). La circulation de l'air est obtenue par une dépression créée à la sortie de l'installation. Le volume d'air aspiré est mesuré à l'aide d'un compteur à gaz.

2.5. MESURE DU DEBIT D'AIR AU NIVEAU DU STIMULATEUR

Une partie seulement de l'air initialement aspiré traverse le conteneur d'incinération. On a mesuré ce débit d'air en déterminant la perte de poids d'échantillons de graphite. Deux séries d'expériences ont été réalisées.

a) Dans l'installation d'incinération décrite aux paragraphes 2.1, 2.2, 2.3. on a placé un rondin cylindrique de graphite de diamètre 60 mm à l'intérieur du conteneur d'incinération (de diamètre 90 mm).

On a réglé le flux d'air global à la valeur de 150 litres par minute. On élève la température à 900°C et on la maintient pendant 30 minutes. Par détermination du poids du morceau de graphite avant et après essai on détermine une perte spécifique de $0,9 \text{ mg. cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

b) La deuxième série d'expériences a été faite dans une installation comprenant un four à résistance électrique muni d'un tube réfractaire dans lequel on insuffle de l'air en quantité réglable et mesurable (Figure 5).

On a successivement porté à 900°C et maintenu pendant trente minutes plusieurs morceaux de graphite afin d'obtenir une perte de poids analogue à la valeur mesurée précédemment.

Avec un débit de 20 litres d'air par minute on a obtenu dans un cas une valeur de $0,86 \text{ mg. cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ et dans l'autre $0,84 \text{ mg. cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

*

On peut donc en conclure que dans l'installation d'incinération, avec un débit global de 150 litres par minute on a un débit de l'ordre de 20 litres par minute au niveau du stimulateur incinéré.

On verra (voir paragraphe VI) que la quantité d'oxygène absorbée par le conteneur d'incinération est faible et n'influe pas sur le bilan.

*

Une vue partielle et une vue générale de l'installation d'incinération sont présentées sur les figures 6 et 7.

III. POSITION DU STIMULATEUR DURANT L'INCINERATION

Il est probable que, lors d'une incinération accidentelle d'un stimulateur placé dans un cadavre, l'appareil soit en position horizontale.

Néanmoins, et pour se mettre dans les conditions les plus défavorables on a placé le stimulateur verticalement dans le conteneur. De plus, on a orienté l'appareil de manière à ce que la batterie soit également verticale avec la source placée en bas, comme indiqué sur la figure 8. Dans ces conditions les constituants des thermoéléments à base de chlorure de bismuth auront tendance, lors de la fusion, à s'écouler le long de la source et à réagir plus "efficacement".

IV - INCINERATION DE STIMULATEURS

(Source avec $^{239}\text{Pu O}_2$ sans pression interne)

4.1. INCINERATION DU STIMULATEUR n° 4R0201N

4.1.1. DESCRIPTION DES COMPOSANTS DU STIMULATEUR

- Cet appareil comportait la batterie n° 396.

- La source n° 125 comprenait une pastille de 193 mg de $^{239}\text{Pu O}_2$, et les trois gainages reportés sur le schéma de la figure 2. Le jeu latéral entre la gaine intermédiaire et la gaine externe était compris entre 0,1 et 0,25 mm (jeu diamétral).

Il n'y avait pas de pression interne.

Cette source, hormis la nature du combustible, était strictement conforme aux sources commercialisées.

4.1.2. CONDITIONS DE L'ESSAI

On a percé un trou sur la périphérie du stimulateur et un trou latéralement (diamètre 2,5 mm) pour éviter les risques d'une explosion trop violente lors de la montée en température.

La position du stimulateur dans le conteneur durant l'incinération est indiquée sur le schéma de la figure 8.

Le cycle de température pendant l'essai est reproduit sur la figure 9. En cours d'essai à 500°C on a noté une légère explosion, accompagnée d'une surpression dans la boîte à gants.

L'alliage Au-Pd, témoin de température placé au fond du conteneur, est retrouvé fondu ce qui prouve qu'on a bien atteint 1300°C.

4.1.3. RESULTATS

Après l'essai on observe que l'enveloppe du stimulateur est fortement attaquée sauf dans la zone A indiquée sur le schéma de la figure 8. Voir la figure 10.

La plupart des inscriptions réglementaires ont disparu, seule subsiste l'inscription "display no. 1".

On constate que l'explosion a endommagé l'enveloppe du stimulateur dans la zone I (voir figure 8). Ceci nous a conduit dans les essais ultérieurs à percer 3 trous de diamètre 2,5 mm sur la surface latérale du stimulateur en I, J et K.

L'enveloppe de la batterie, quoiqu' oxydée, conserve une certaine résistance mécanique et a dû être brisée pour retirer la source. Au fond de la batterie on retrouve la trace du module thermoélectrique.

L'enveloppe externe de la source présente des fissures notamment sur la périphérie de la zone où se trouvent les thermoéléments (figure 11).

Un test d'absence de contamination α , par frottis, a été effectué en utilisant un intégrateur portatif alpha bêta IPAB type 2 B de marque NARDEUX dont la limite de sensibilité α est $5 \cdot 10^{-6} \mu\text{Ci} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Aucune activité n'a été décelée.

Une coupe de la source est présentée sur les figures 12 et 13.

En ce qui concerne l'enveloppe externe, la structure du fond (côté en contact avec $\text{Te}_3 \text{Bi}_2$) est identique à celle de la zone soudée. On notait essentiellement des fissurations à l'intérieur même du tantale (voir figures 12 et 13). Latéralement, sur moins de 0,25 mm, on observait une surface endommagée lors du tronçonnage par suite de la fragilité du matériau.

La gaine de platine iridium est intacte sur toute sa surface. Il en est de même pour la gaine interne de tantale.

4.2. INCINERATION DU STIMULATEUR n° 4R0207N

4.2.1. DESCRIPTION DES COMPOSANTS DU STIMULATEUR

Cet appareil comportait la batterie n° 226 et la source n° 121. Cette dernière comprenait une pastille de 189 mg de $^{239}\text{PuO}_2$ et les trois gainages reportés sur le schéma de la figure 2. Il n'y avait pas de pression interne. Le jeu latéral entre la gaine intermédiaire et la gaine externe était compris entre 0,1 et 0,25 mm sur le diamètre.

4.2.2. CONDITIONS DE L'ESSAI

On a percé sur la périphérie du stimulateur (on I.V.K. voir figure 8) trois trous de diamètre 2,5 mm. La position du stimulateur durant l'incinération était conforme au schéma de la figure 8.

Le cycle de température pendant l'essai est reproduit sur la figure 14. On n'a pas noté d'explosion à 500°C, probablement par suite d'une montée en température plus lente que dans l'essai précédent.

4.2.3. RESULTATS

Les constatations faites avec l'appareil 4R0201N sont identiques avec l'appareil 4R0207N en ce qui concerne l'état du stimulateur et de la batterie. Deux vues différentes du stimulateur sont présentées sur les figures 15 et 16.

Il est nécessaire de briser les restes de l'enveloppe de la batterie pour dégager la source. La gaine externe de cette dernière paraît plus endommagée que précédemment, elle est fragile mais conserve sa cohésion.

La détection d'une éventuelle contamination α a été faite par frottis dans les mêmes conditions que celles décrites dans le paragraphe 4.1.3.

Aucune activité n'a été décelée.

On remarque sur le fond de la source (côté $Te_3 Bi_2$) une attaque locale de l'enveloppe externe en tantale (figure 17). Il convient de souligner que le tronçonnage contribue à dégrader l'enveloppe de tantale et que la structure paraît plus perturbée qu'elle n'est en réalité.

Les enveloppes de platine iridium et de tantale interne sont intactes - voir figure 18 -

V - INCINERATION DU STIMULATEUR n° 4R0054N

(Source avec UO_2 et pression interne)

5.1. DESCRIPTION DES COMPOSANTS DU STIMULATEUR

Cet appareil comportait la batterie M 242 et la source n° 128. Cette dernière comprenait une pastille de 206 mg d' UO_2 et les trois gainages reportés sur le schéma de la figure 2. La pression à l'intérieur de la gaine interne de tantale était de 35 kg. cm^{-2} mesurée à 20°C et simulant la pression atteinte au bout de 12 ans de vie.

La technique utilisée pour obtenir cette pression était la suivante. A la place du couvercle usuel de tantale on soude par bombardement électronique - dans les mêmes conditions qu'habituellement - un couvercle avec un petit queueuxot percé d'un trou de 0,5 mm. La capsule de tantale ainsi obtenue est alors placée dans une enceinte sous vide puis la pression est portée à 35 kg. cm^{-2} . Le trou est alors obturé par une décharge électrique. La vérification de l'étanchéité est effectuée avec un spectromètre de masse, par la méthode du ressuage d'hélium.

Le jeu latéral entre la gaine intermédiaire et la gaine externe était compris entre 0,1 et 0,25 mm sur le diamètre.

5.2. CONDITIONS DE L'ESSAI

Comme pour l'appareil précédent 3 trous ont été percés en I.J.K. et le stimulateur a été placé également verticalement (voir figure 8).

Le cycle de température pendant l'essai est reproduit sur la figure 19. On remarquera qu'une montée brutale à 1400°C s'est produite à la fin du palier à 1300°C par suite de la détérioration du conteneur dans lequel était placé le stimulateur. Ceci a entraîné un "couplage" direct sur l'enveloppe du stimulateur qui a été porté ainsi à 1400°C pendant quelques secondes.

5.3. RESULTATS

Les remarques formulées pour l'appareil 4R0207N sont toujours valables en ce qui concerne l'enveloppe du stimulateur (figure 20). Par contre l'enveloppe de la batterie est très endommagée et les passages de courant en ferronickel ont fondu (figure 21).

L'enveloppe externe de la source est oxydée localement (figure 22).

Un contrôle d'activité β de la source a été effectué, par frottis. On a utilisé un intégrateur portatif alpha, bêta IPAB type 2B de marque NARDEUX dont la limite de sensibilité β est $5 \cdot 10^{-5} \mu\text{Ci. cm}^{-2}$. Aucune activité n'a été décelée.

Au cours du tronçonnage on a dégradé l'enveloppe de Pt Ir dans la partie supérieure droite (figure 23). Le déchaussement des grains est visible sur la figure 24 et n'a aucune relation avec une réaction provoquée par le tellure de bismuth. En effet lorsque le platine iridium est attaqué on observe une structure analogue à celle présentée sur la figure 25.

En conclusion la gaine intermédiaire est intacte de même que la gaine interne en tantale.

VI - ANALYSE DES RESULTATS

Par rapport aux sources STA les modifications suivantes ont été apportées :

- a) passage de la forme Pu Sc métallique à l'oxyde Pu O_{1,9} pour le combustible.
- b) diminution de l'épaisseur latérale de la gaine de platine iridium (de 1,25 à 1 mm) , l'épaisseur du fond et du couvercle restant inchangée (1 mm).
- c) adjonction d'une troisième gaine de tantale (épaisseur 0,5 mm).

En ce qui concerne l'incidence de ces modifications sur la tenue à l'incinération à 1300°C on peut faire les commentaires suivants :

a) forme du combustible :

- l'oxyde de plutonium est stable et thermodynamiquement il n'y a pas de risque de réaction avec le tantale.
- l'augmentation du volume de la pastille d'oxyde par rapport à celui de l'alliage amène une diminution d'environ 10 % du volume libre.

b) diminution de l'épaisseur de la gaine de platine iridium :

Si on admet que la gaine externe n'assure plus aucun rôle mécanique, après une incinération, la diminution de 0,25 mm d'épaisseur du platine n'entraîne qu'un faible abaissement des caractéristiques mécaniques de la source.

c) adjonction d'une troisième gaine de tantale:

L'efficacité de cette gaine a été démontrée par les 3 essais décrits dans ce rapport et dans une précédente étude [4].

Il convient de souligner que les essais de tenue à l'éclatement (à 1300°C) sur les sources STA [2] avaient montré que les sources se fissaient pour des pressions internes de l'ordre de 2000 kg. cm⁻².

Même si l'on admet un abaissement de l'ordre de 20 % de la pression entraînant la fissuration pour les sources STO_1 , la marge de sécurité est encore importante puisque la pression atteinte au bout de 12 ans de vie est d'environ 190 kg. cm^{-2} à 1300°C .

*

On indiquera, enfin, que les conteneurs d'incinération, en graphite revêtu d'alumine sont, en général, endommagés pendant l'essai.

Avant et après essai la mesure du poids des conteneurs a été effectuée. La diminution de poids, due à l'oxydation du graphite, nous a permis de calculer que la quantité d'oxygène réagissant avec le conteneur était, au maximum, de 1 litre par minute (à comparer à la valeur du débit d'air dans la zone d'incinération qui est de 20 litres par minute).

VII - CONCLUSION

Les sources STO₁ sont largement conformes aux normes édictées par l'Agence de l'O.C.D.E. pour l'Energie Nucléaire en ce qui concerne la tenue à l'incinération à 1300°C, sous flux d'air.

L'adjonction d'une troisième gaine, en tantale, protège efficacement le platine iridium de l'attaque des thermoéléments à base de tellure de bismuth.

Cette gaine externe, protégée par les enveloppes et les constituants du stimulateur et de la batterie thermoélectrique, souffre peu de l'oxydation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] - Les études de sécurité sur les sources scellées de plutonium 238 pour stimulateurs cardiaques.
R. BOUCHER - P. BARTHELEMY - C. MILET
Deuxième Symposium International sur l'Energie d'origine radioisotopique.
MADRID - 29 Mai - 2 Juin 1972 -
- [2] - Stimulateur cardiaque radioisotopique - Essais de sécurité : écrasement, pression interne, incinération.
C. CARRARD - C. MILET
Rapport CEA - R - 4447 - Mars 1973 -
- [3] - Stimulateur cardiaque radioisotopique - Essais de sécurité à 1300°C et à 800°C - Source avec pression interne et combustible factice.
C. CARRARD - C. MILET -
Rapport CEA - R - 4488 - Octobre 1973 -
- [4] - Amélioration de la tenue à l'incinération, à 1300°C, des sources radioisotopiques pour stimulateur cardiaque.
R. BOUCHER - C. MILET - J.J. QUILICO - J.C. VAN CRAEYNST -
Note CEA - N - 1721 - Avril 1974 -
- [5] - Normes provisoires de radioprotection applicables à la conception, à la construction, aux essais et au contrôle des stimulateurs cardiaques radioisotopiques.
Anonyme
Agence de l'O.C.D.E. pour l'Energie Nucléaire.
SEN/SAN (74) 3 - 21.02.1974.

Manuscrit reçu le 28 août 1974

LISTE DES FIGURES

- 1 - Schéma d'un stimulateur cardiaque radioisotopique .
- 2 - Source type ST pour stimulateur cardiaque .
- 3 - Coupe de l'installation d'incinération des stimulateurs .
- 4 - Schéma de circulation des gaz .
- 5 - Installation d'incinération pour batterie seule ayant servi à la détermination du débit d'air.
- 6 - Vue partielle de l'installation d'incinération .
- 7 - Vue générale de l'installation d'incinération .
- 8 - Position du stimulateur dans le conteneur d'incinération .
- 9 - Cycle d'incinération du stimulateur 4R0201N .
- 10 - Vue du stimulateur 4R0201N après incinération.
- 11 - Vue de la source 125 incinérée dans le stimulateur 4R0201N.
- 12-13- Coupe micrographique de la source n° 125 .
- 14 - Cycle d'incinération du stimulateur 4R0207N .
- 15-16- Stimulateur 4R0207N et source 126 après incinération à 1300°C, 105 minutes.
- 17-18- Source 126 avec $^{239}\text{Pu O}_2$ après incinération du stimulateur 4R0207N .
- 19 - Cycle d'incinération du stimulateur 4R0054N .
- 20 - Stimulateur 4R0054N après incinération à 1300°C - 105 minutes -
- 21 - Vue de la batterie 242.
- 22-23 - Vue de la source 128 avec UO_2 et pression interne de 35 kg.cm⁻² .
- 24 - Source 128 - Vue de la zone Pt Ir endommagée par le tronçonnage .
- 25 - Exemple de la structure d'une gaine de Pt Ir en contact direct avec $\text{Te}_3 \text{Bi}_2$ à 1300°C.

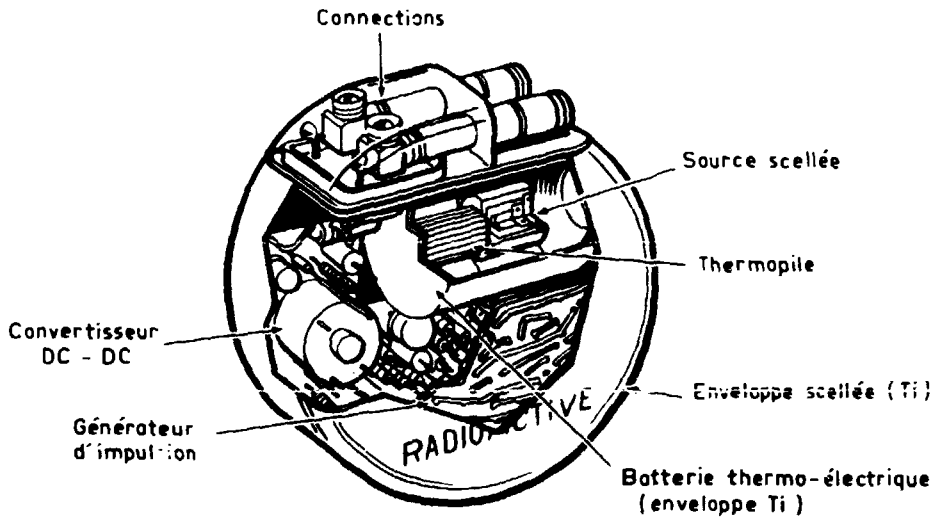
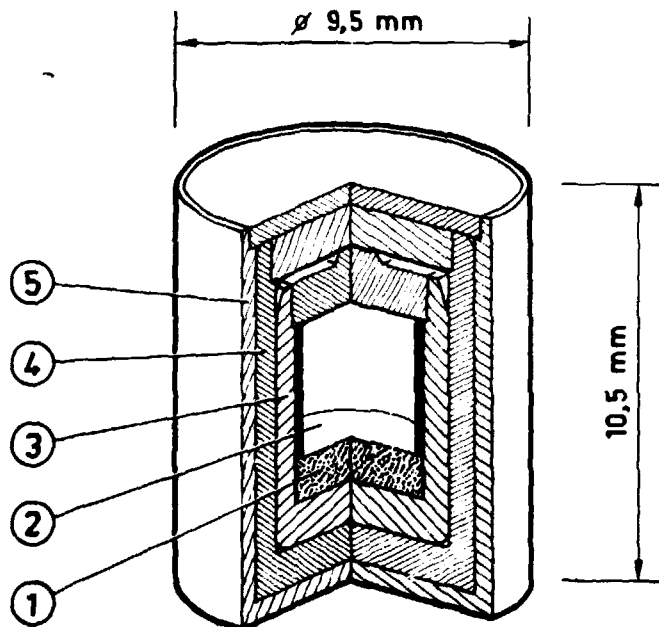


FIG. 1



- 1 - PASTILLE DE ^{239}Pu
- 2 - VOLUME LIBRE
- 3 - CAPSULE DE Ta
- 4 - CAPSULE DE Pt.Ir
- 5 - CAPSULE DE Ta

FIG. 2 . SOURCE TYPE ST POUR STIMULATEUR
CARDIAQUE

- 1 - SPIRES INDUCTIVES
- 2 - ECRAN THERMIQUE
- 3 - ECRAN THERMIQUE AVEC CIRCULATION D'EAU INTERNE.
- 4 - ESPACE LIBRE
- 5 - POT DE REFROIDISSEMENT DES GAZ
- 6-7 FILTRE (SORTIE DES GAZ)
- 8 - FILTRE (ENTREE D'AIR).

COUPE DE L'INSTALLATION D'INCINERATION DES STIMULATEURS
CARDIAQUES, PLACÉE EN BOÎTE À GANTS.

FIGURE 3

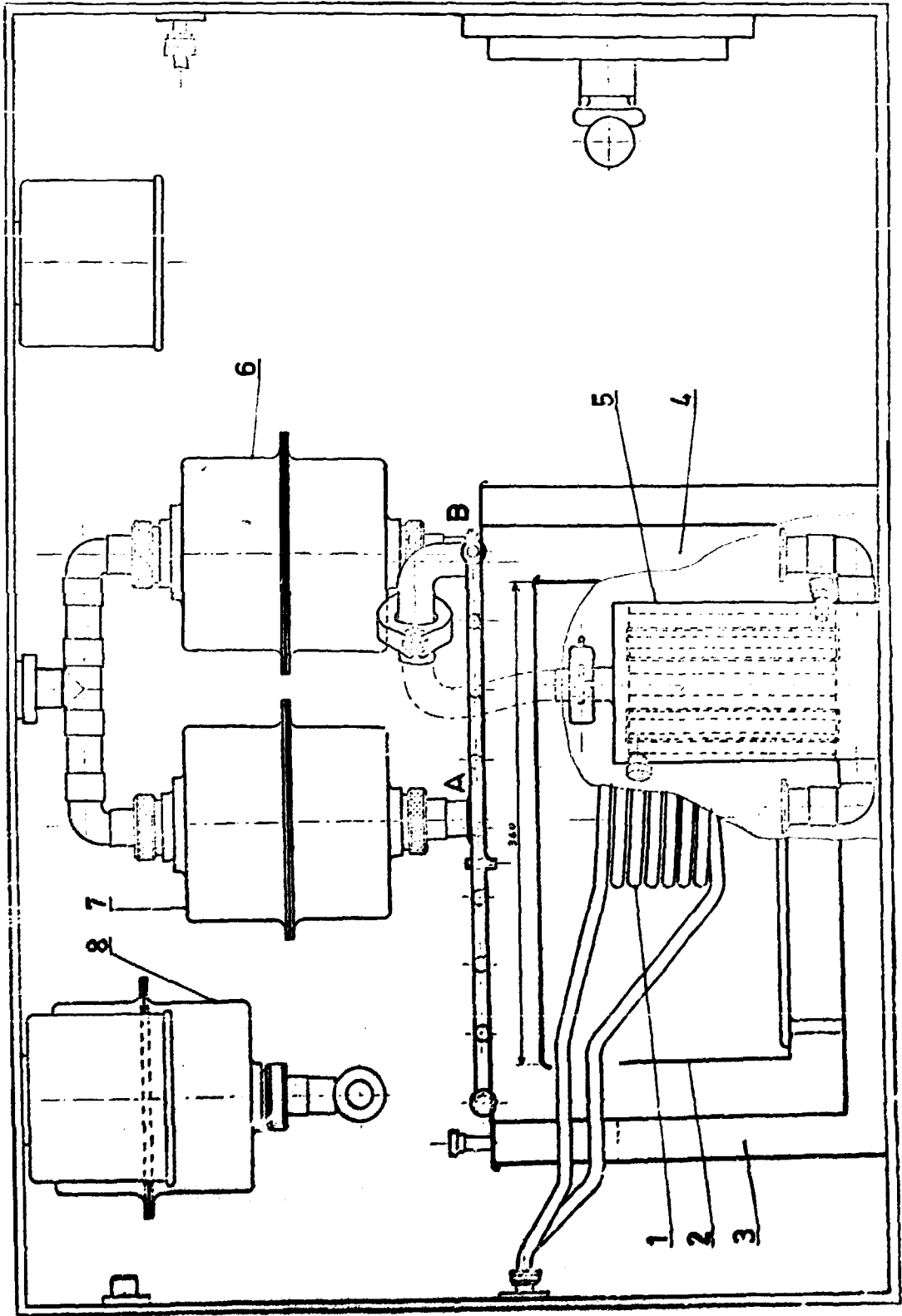


FIGURE 5

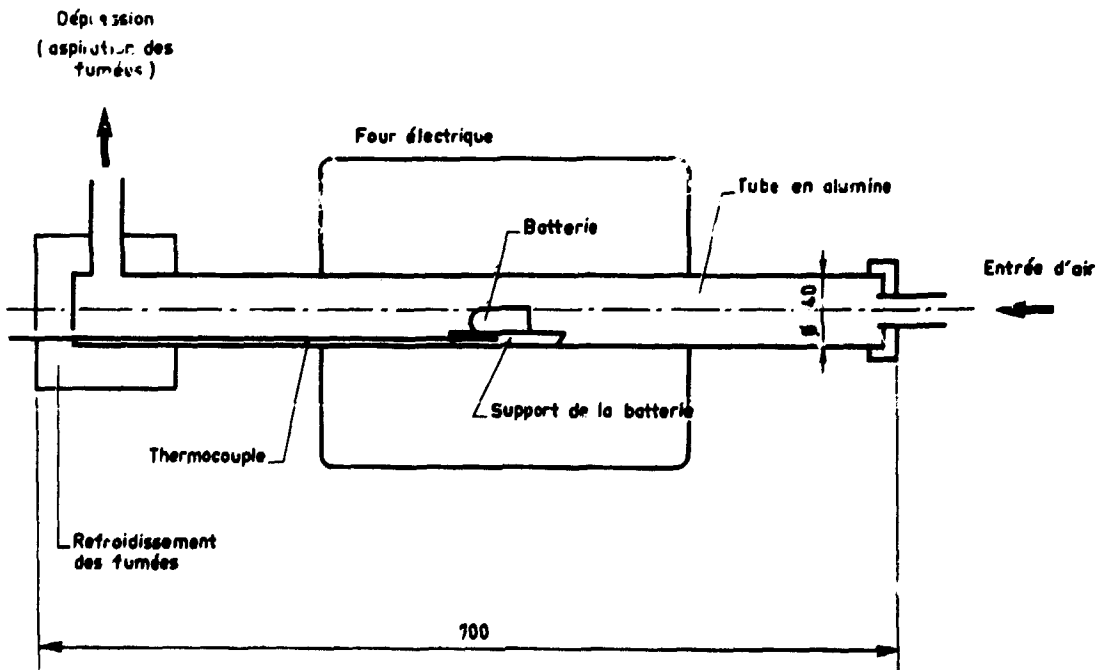
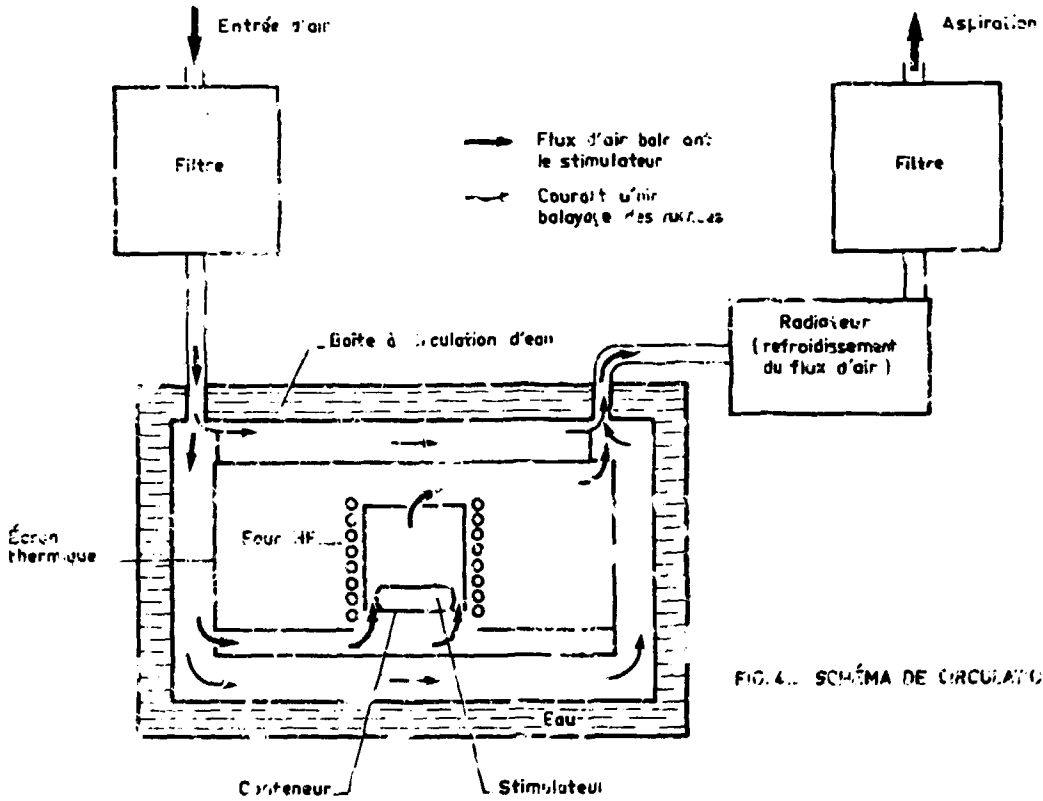


FIG. 5. INSTALLATION D'INCINÉRATION POUR BATTERIE SEULE ET DÉTERMINATION DU DÉBIT D'AIR



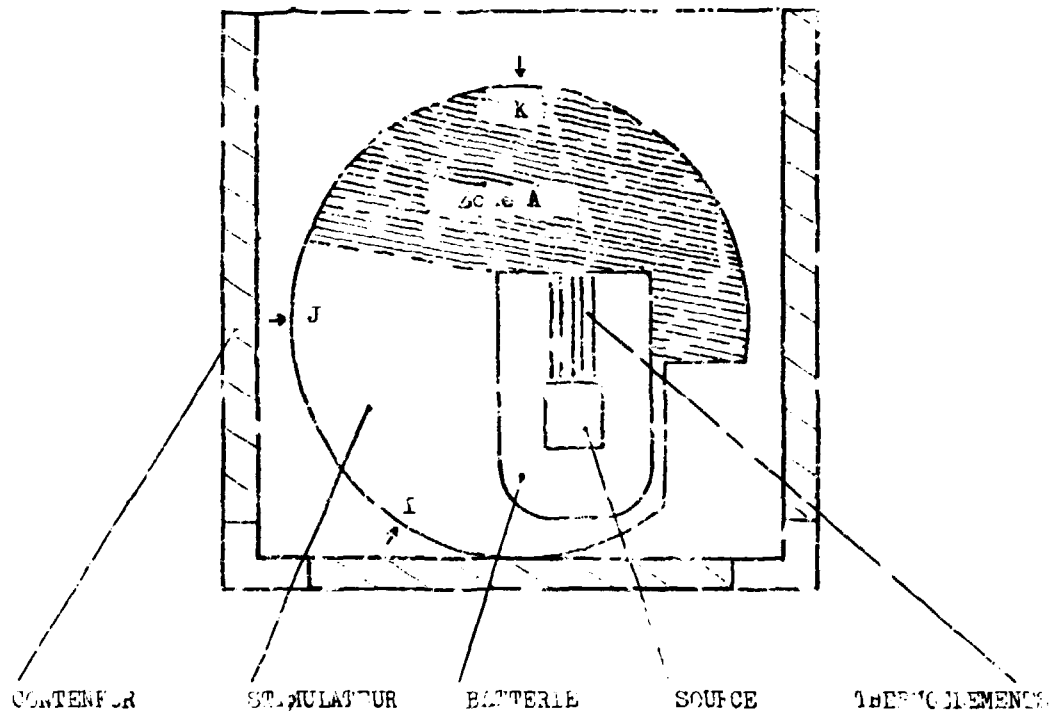
VUE PARTIELLE DE L'INSTALLATION E'
INCINERATION POUR STIMULATEUR CARDIAQUE

FIGURE 6



VUE GENERALE DE L'INSTALLATION D'
INCINERATION POUR STIMULATEUR CARDIAQUE

FIGURE 7



Les lettres I, J, K indiquent la position des trous percés avant incinération des appareils 4RO207M et 4RO254N.

*

Les appareils ont été placés verticalement pendant l'incinération. La batterie était également verticale. Dans cette position les composants des thermoéléments réagissaient au maximum avec la source.

*

La zone hachurée A représente la partie la moins endommagée de l'enveloppe externe du stimulateur, après incinération.

POSITION DU STIMULATEUR DANS LE CONTENEUR D'INCINERATION

FIGURE 3

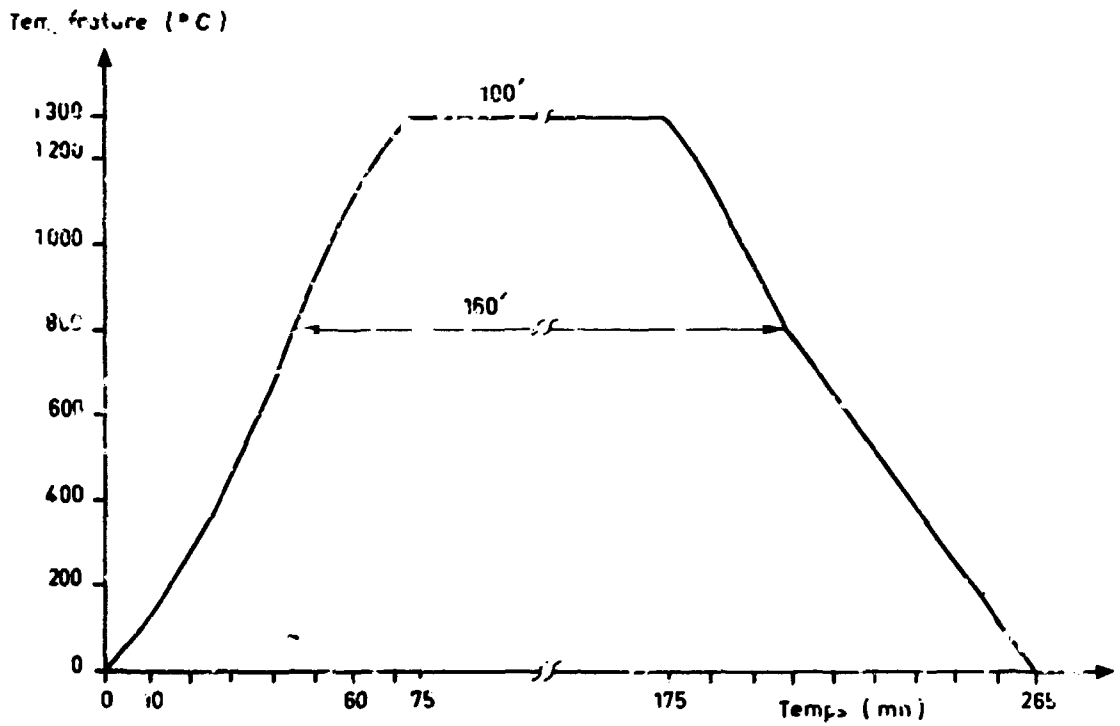
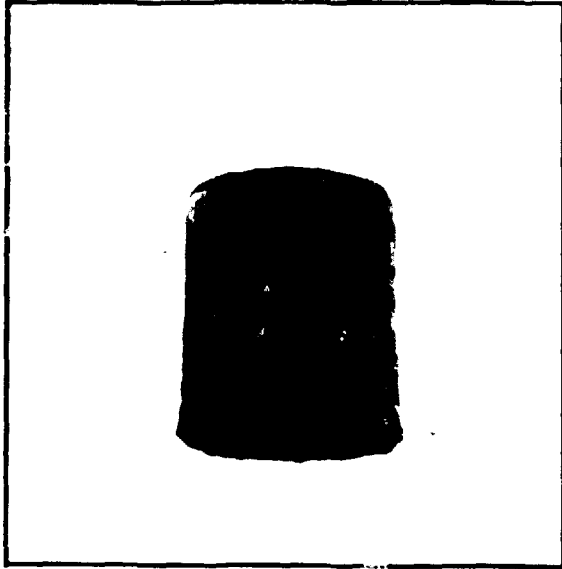


FIG. 9.- CYCLE D'INCINÉRATION DU STIMULATEUR 4R0201N



Vue du stimulateur

FIGURE 10

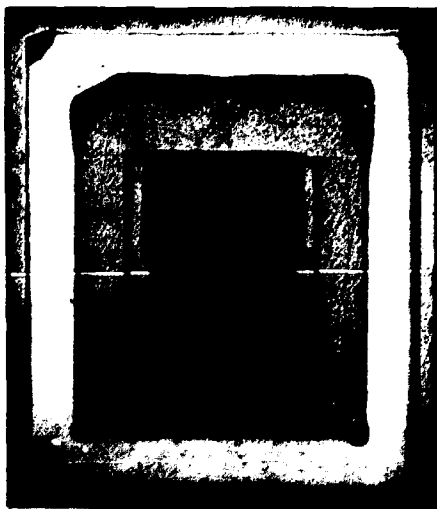


Vue de la source

FIGURE 11

STIMULATEUR 4R0201N ET SOURCE 125 APRES INCINERATION A

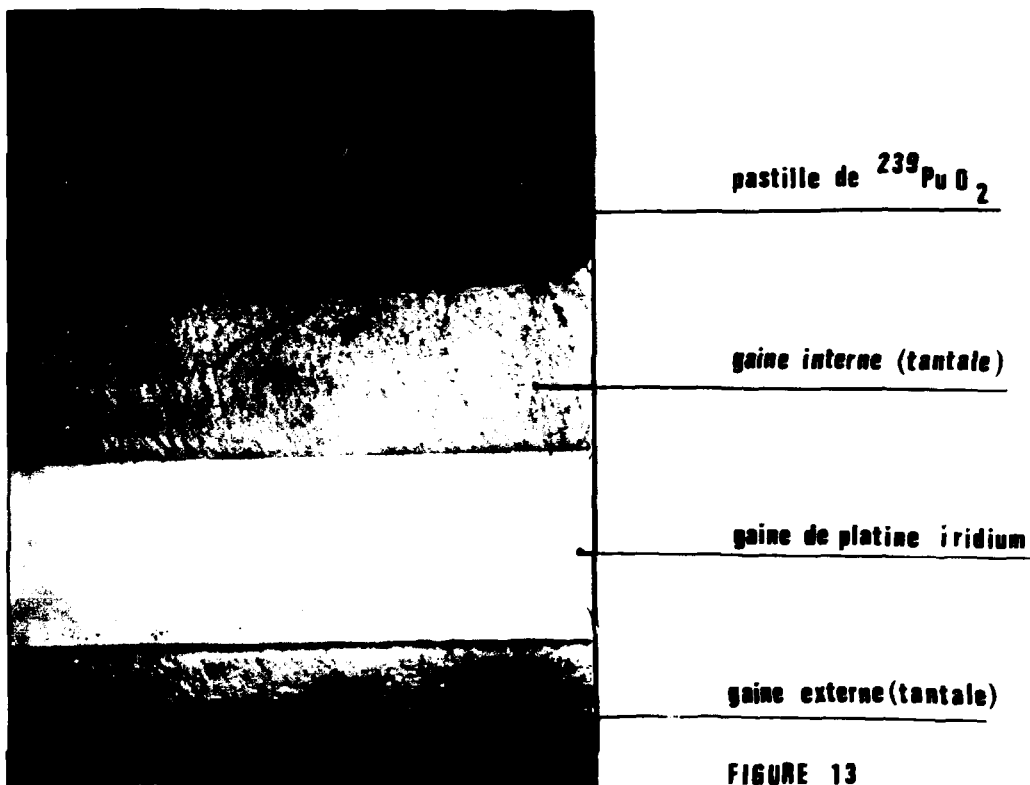
1300 °C 100 minutes



Vue générale de la

source

FIGURE 12



SOURCE 125 AVEC $^{239}\text{PuO}_2$ APRES INCINERATION DU STIMULATEUR 4R0201N

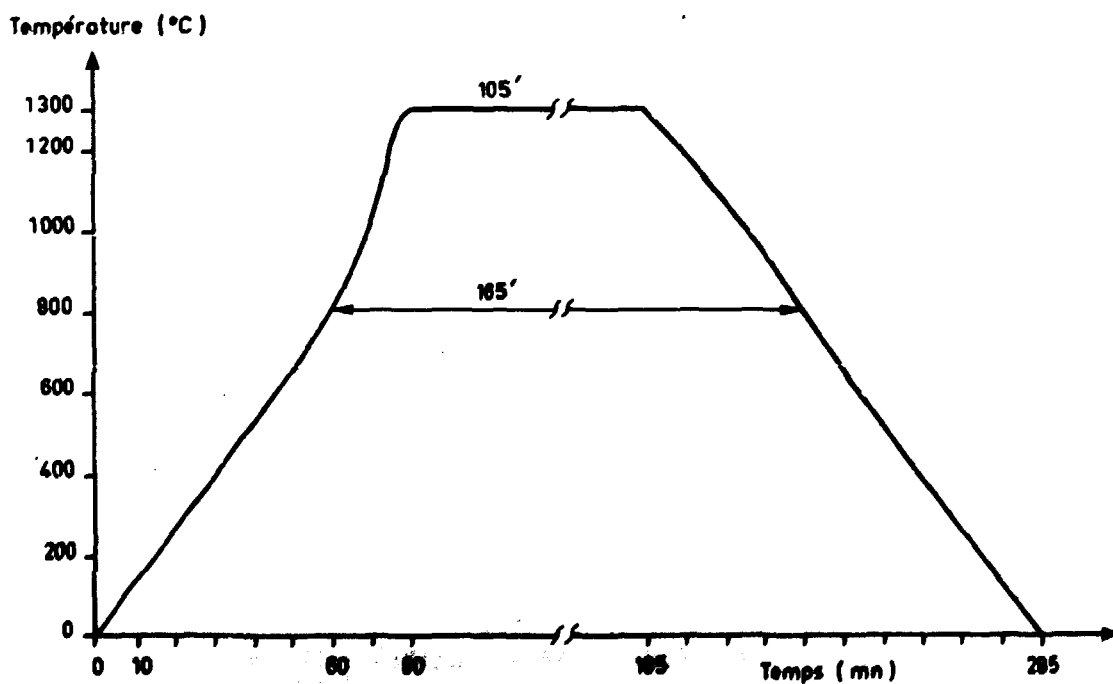
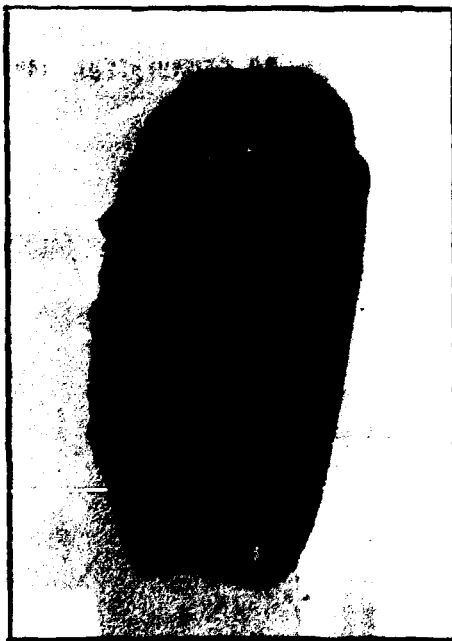


FIG. 14... CYCLE D'INCINERATION DU STIMULATEUR 4R0207N



Vue du stimulateur

FIGURE 15

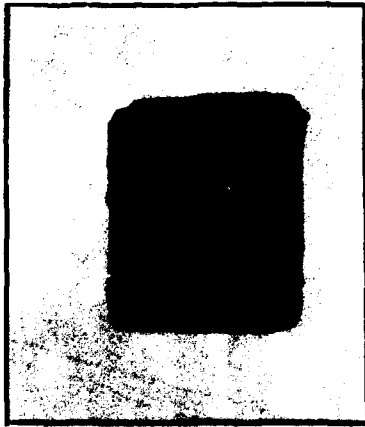


Vue de côté

FIGURE 16

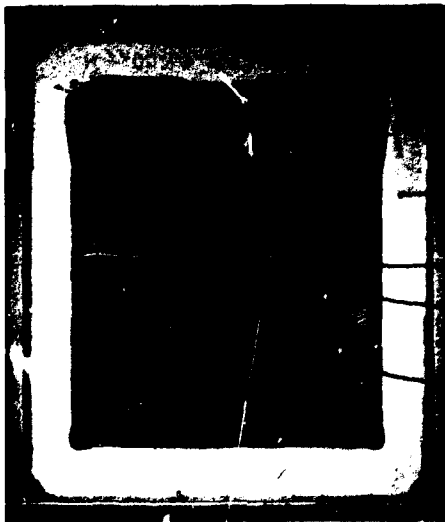
STIMULATEUR 4R0207N APRES INCINERATION A

1300 °C 105 minutes



Vue de la source

FIGURE 17



gaine externe Ta

gaine Pt Ir

gaine interne Ta

tube de maintien

pastille de $^{239}\text{PuO}_2$

FIGURE 18

SOURCE 128 AVEC $^{239}\text{PuO}_2$ APRES INCINERATION DU STIMULATEUR

480207N .

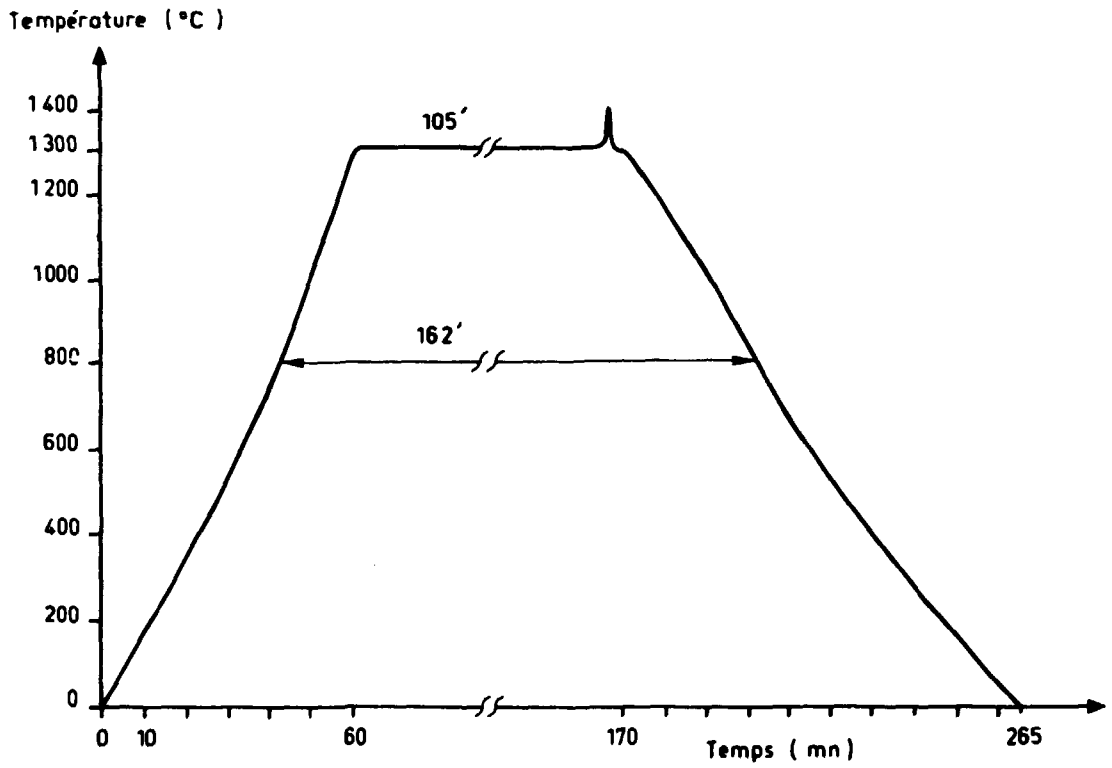
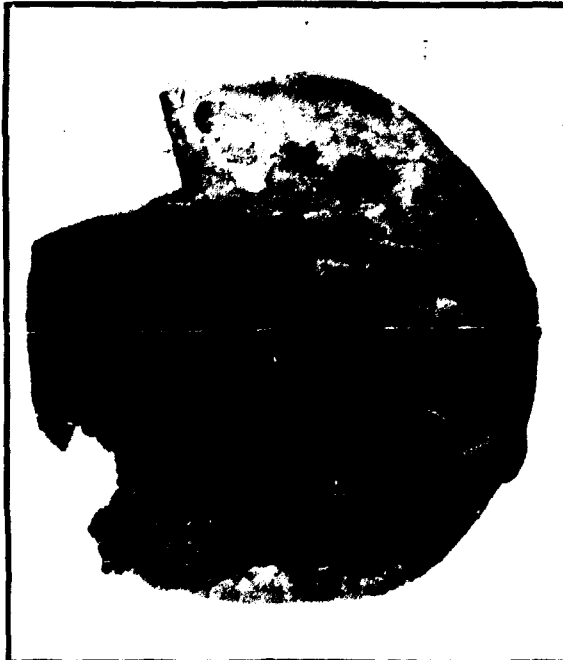
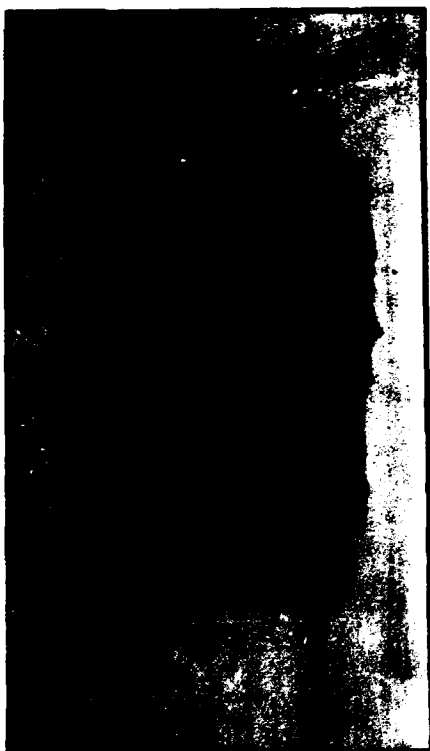


FIG. 19. - CYCLE D'INCINÉRATION DU STIMULATEUR 4 R0054 N



Vue du stimulateur

FIGURE 20



Vue de la batterie 242

FIGURE 21

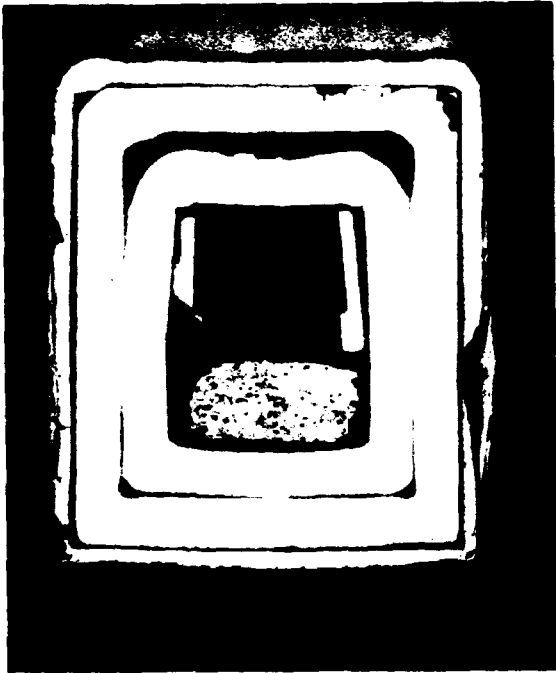
STIMULATEUR 480054N APRES INCINERATION A 1300 °C

105 minutes



Vue de la source

FIGURE 22

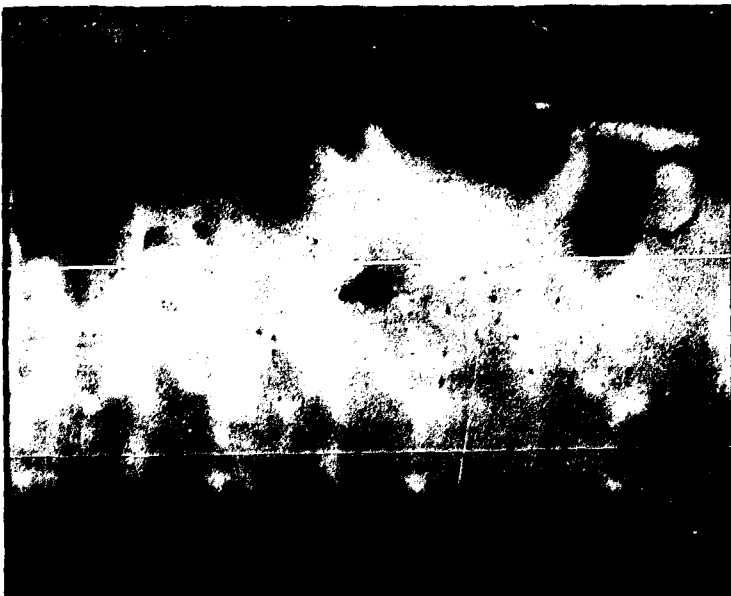


Coupe

la détérioration de la
gaine Pt Ir a été provoquée
par le tronçonnage

FIGURE 23

SOURCE 128 AVEC UO_2 ET PRESSION INTERNE DE $35 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$



Source 128

Vue de la zone Pt Ir
endommagée lors du
tronçonnage

FIGURE 24

0,20 mm



Exemple de la structure
d'une gaine de Pt Ir
en contact direct avec
 Te_3Bi_2 à 1300°C

FIGURE 25

—|—|—
0.20 mm



Edité par
le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Boîte Postale n° 2
91190 - Gif-sur-YVETTE (France)