

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

---

D.20

**STIMULATEUR CARDIAQUE RADIGISOTOPIQUE**  
**ESSAIS DE SECURITE : ECRASEMENT,**  
**PRESSION INTERNE, INCINERATION**

*par*

*Claude CARRARD, Claude MILET*

DIVISION DE METALLURGIE ET D'ETUDE DES  
COMBUSTIBLES NUCLEAIRES

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses

**Rapport CEA-R-4447**

**PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA**  
(Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

A 11	Physique théorique	C 30	Utilisation de traceurs dans les sciences de la vie
A 12	Physique atomique et moléculaire	C 40	Sciences de la vie : autres études
A 13	Physique de l'état condensé	C 50	Radioprotection et environnement
A 14	Physique des plasmas et réactions thermonucléaires		
A 15	Astrophysique, cosmologie et rayonnements cosmiques	D 10	Isotopes et sources de rayonnements
A 16	Conversion directe d'énergie	D 20	Applications des isotopes et des rayonnements
A 17	Physique des basses températures		
A 20	Physique des hautes énergies	E 11	Thermodynamique et mécanique des fluides
A 30	Physique neutronique et physique nucléaire	E 12	Cryogénie
		E 13	Installations pilotes et laboratoires
B 11	Analyse chimique et isotopique	E 14	Explosions nucléaires
B 12	Chimie minérale, chimie organique et physico-chimie	E 15	Installations pour manipulation de matériaux radioactifs
B 13	Radiochimie et chimie nucléaire	E 16	Accélérateurs
B 14	Chimie sous rayonnement	E 17	Essais des matériaux
B 15	Corrosion	E 20	Réacteurs nucléaires (en général)
B 16	Traitement du combustible	E 30	Réacteurs nucléaires (types)
B 21	Métaux et alliages (production et fabrication)	E 40	Instrumentation
B 22	Métaux et alliages (structure et propriétés physiques)	E 50	Effluents et déchets radioactifs
B 23	Céramiques et ciments		
B 24	Matières plastiques et autres matériaux	F 10	Economie
B 25	Effets des rayonnements sur les propriétés physiques des matériaux	F 20	Législation nucléaire
B 30	Sciences de la terre	F 30	Documentation nucléaire
		F 40	Sauvegarde et contrôle
C 10	Action de l'irradiation externe en biologie	F 50	Méthodes mathématiques et codes de calcul
C 20	Action des radioisotopes et leur météorologie	F 60	Divers

*Cote-matière de ce rapport : D.20*

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

<i>en français</i>	<i>en anglais</i>
STIMULATEURS CARDIAQUES	CARDIAC PACEMAKERS
SOURCES DE CHALEUR RADIO-ISOTOPIQUES	RADIOISOTOPE HEAT SOURCES
SOURCES SCÉLÉES	SEALED SOURCES
PLUTONIUM 238	PLUTONIUM 238
CAPSULES	CAPSULES
SÉCURITÉ	SAFETY
ESSAIS AU CHOC	IMPACT TESTS
ESSAIS D'ÉTANCHEITÉ	LEAK TESTING
RÉSISTANCE AU FEU	FIRE RESISTANCE

CEA-R-4447 - CARRARD Claude, MILET Claude

STIMULATEUR CARDIAQUE RADIOISOTOPIQUE

ESSAIS DE SECURITE : ECRASEMENT, PRESSION INTERNE, INCINERATION

*Summary.* - Suite aux résultats présentés au Symposium International sur l'Energie d'origine Radioisotopique de Madrid (juin 1972), le présent rapport traite des essais d'écrasement et de résistance à la pression interne des sources radioisotopiques ainsi que des essais d'incinération à 1300 °C (2370 °F) effectués sur les sources, les batteries thermoelectriques et les stimulateurs cardiaques complets.

1973

59 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-R-4447 - CARRARD Claude, MILET Claude

RADIOISOTOPIC CARDIAC PACEMAKER

REPORT ON SAFETY TESTS : CRUSH, INTERNAL PRESSURE, CREMATION

*Summary.* - Following the results presented at the Second International Symposium on Power from Radioisotopes (Madrid, 29th May-1st June, 1972), the present report describes the various tests : crush and internal pressure resistance of the radioisotopic sources as well as cremation at 1300 °C (2370 °F) performed on the sources, the thermoelectric batteries and the whole cardiac pacemaker.

1973

59 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

## AVANT PROPOS

Un stimulateur cardiaque radioisotopique est un dispositif implantable conçu pour émettre des impulsions électriques destinées à stimuler le cœur. Le stimulateur comporte une batterie et des circuits électroniques.

La batterie est la source d'énergie électrique qui comprend le combustible radioisotopique et un système de conversion ou de collecte.

Le combustible radioisotopique est confiné dans une ou plusieurs enveloppes appelées capsules qui garantissent son isolement de telle façon que les critères de sécurité soient respectés.

L'ensemble, combustible et enveloppes de sécurité, est appelé source radioisotopique.

Le schéma du stimulateur cardiaque MEDTRONIC est présenté sur la figure 1.

Le combustible est un alliage  $^{238}\text{PuSc}$ . Il est enveloppé dans une première capsule interne en tantale, puis dans une deuxième capsule externe en platine iridié.

Le système de conversion est constitué par des thermocouples en tellure de bismuth ( $\text{Te}_3\text{Bi}_2$ ). L'ensemble source et thermocouples, entouré d'un isolant thermique, est placé dans une enveloppe en titane, d'où sortent des conducteurs électriques. Cette batterie est reliée à des circuits électroniques et le tout est confiné dans un boîtier en titane qui constitue l'enveloppe externe du stimulateur.

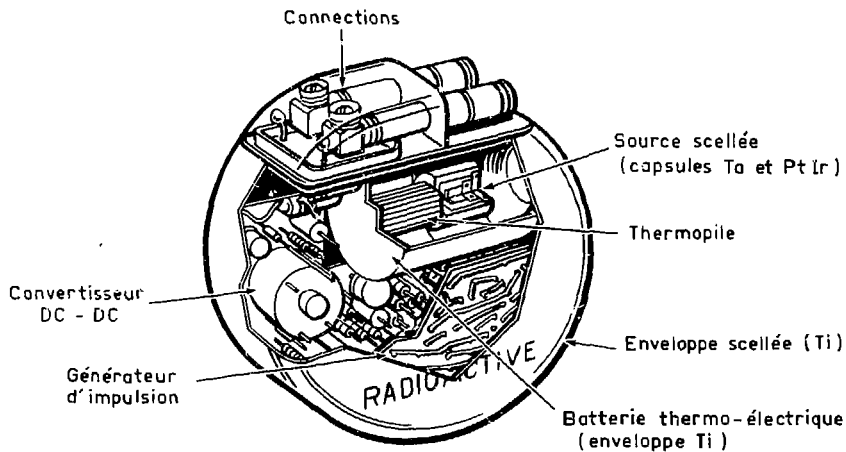


FIG.1

alors dans une position quelconque.

L'essai d'écrasement doit être répété après l'épreuve thermique spécifiée au paragraphe ci-après".

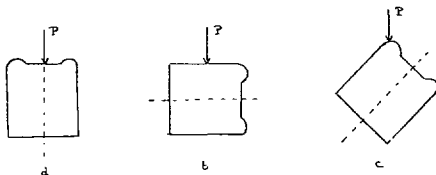
### 1.2. Essai de température

"La source doit être maintenue à une température de 800°C pendant 30 mn et plongée immédiatement après dans un grand volume d'eau à température ordinaire. La source doit se trouver à la pression maximale qu'elle est susceptible d'atteindre pendant sa durée de vie, lorsque la température est de 800°C".

## II - METHODE ET APPAREILLAGE

### 2.1. Méthode

Le mode d'essai choisi pour nos capsules a été celui décrit au paragraphe 1.1.b. La pression est exercée parallèlement puis perpendiculairement aux génératrices et enfin dans la direction d'une diagonale suivant les schémas ci-après :



Dans la position c, la capsule était maintenue par un support en plomb, qui ne pouvait pas opposer de résistance à la déformation de la capsule au moment de la pression.

On a effectué à la fois des essais d'écrasement simple et des essais combinés : traitement thermique à 800°C + écrasement. On ne décrira ici que ces derniers, étant donné que le

liquide de trempe : 10 litres d'eau à la température ordinaire.

Ce four vertical a permis d'atteindre 800°C au bout de 15 mn, le palier a duré 30 mn et il a été suivi d'une trempe à l'eau.

#### Ecrasement

Presse : marque UMG

gamme de pression 0 à 20 000 kg

précision à 1000 kg  $\pm$  200 kg

Mors : en acier - épaisseur 1 cm







diamètre 3 cm

#### 2.3. Appareillage utilisé pour la deuxième série d'essais

Les appareils employés au Laboratoire National d'Essais seront décrits ultérieurement dans le procès verbal officiel de cet essai. L'épaisseur des mors de la presse a été portée à 2 cm comme le demandait le projet de spécifications et la presse a été étalonnée au préalable.

Les conditions de contrôle par ressuage d'hélium sont identiques pour les 2 séries d'essais :

- immersion dans une enceinte sous une pression de 30 bars d'hélium pendant 16 h au minimum  
(1 bar =  $1,02 \text{ kg.cm}^{-2}$  = 14,5 psi).
- aération comprise entre 5 et 10 mn avant chaque mesure.
- chaque capsule est alors placée dans une enceinte étanche reliée à un spectromètre de masse de marque ALCATEL type ASM4 ou ASM7, et le flux d'hélium dégagé est alors mesuré.

N° capsule	1	2	3	4	5	6
Flux de fuite initial (atm cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	$0,14 \times 10^{-9}$	$0,68 \times 10^{-9}$	$0,34 \times 10^{-9}$	$0,23 \times 10^{-9}$	$0,25 \times 10^{-9}$	$0,2 \times 10^{-9}$
Flux de fuite après 800°C 30 mn + trempe (atm cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	$2,4 \times 10^{-9}$	$3,1 \times 10^{-9}$	$3,2 \times 10^{-9}$	$2,5 \times 10^{-9}$	$7,4 \times 10^{-9}$	$3,6 \times 10^{-9}$
Temps d'application de la charge de 1000 kgf	5 mn	5 mn	5 mn	5 mn	2 mn	2 mn
Mode d'application						
Flux de fuite après écrasement (atm cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	$2,6 \times 10^{-9}$	$3,7 \times 10^{-9}$	$1,2 \times 10^{-9}$	$1,6 \times 10^{-9}$	$3,8 \times 10^{-9}$	$1,8 \times 10^{-9}$

Dans tous les cas, le flux de fuite subit une augmentation après l'essai thermique, provoquée par une légère oxydation superficielle du platine iridié. Par contre, le test ultérieur d'écrasement ne provoque pas de changement significatif.

Des contrôles par neutronographie confirment la parfaite tenue des capsules après ces 2 tests (figure 2).

#### IV - CONCLUSION

La combinaison des deux tests : traitement thermique sous air à 800°C pendant 30 mn + écrasement sous une pression de 1000 kg, ne provoque qu'un léger dommage à nos sources sous la forme d'une faible oxydation superficielle de la gaine de platine iridié. On ne mesure aucune fuite décelable au spectromètre à hélium, ce qui indique que nos capsules satisfont aux tests proposés dans l'introduction et conservent leur intégrité.



DEUXIEME PARTIE

ESSAIS DE RESISTANCE A LA PRESSION INTERNE  
DES SOURCES DE TYPE STA

I - INTRODUCTION

Par désintégration, le  $^{238}\text{Pu}$  se transforme en  $^{234}\text{U}$  avec émission d'hélium. La quantité d'hélium présent à l'intérieur de la capsule va croître en fonction du temps, et par conséquent, exercer une pression de plus en plus forte sur les parois intérieures des capsules. La limite de résistance à la température normale de fonctionnement des sources doit être connue. Le document SEN/GESP (70) 3 (Final) de l'A.E.N.<sup>+</sup> (O.C.D.E.) intitulé : "Normalisation relative à la conception, à la construction, aux essais et au contrôle des stimulateurs cardiaques alimentés par des sources radioisotopiques" paragraphe 3.2 indique que "la source radioisotopique doit être conçue de manière à rester scellée et étanche ... durant sa vie utile ainsi que dans toutes les conditions normales pendant au moins 10 périodes du combustible". Il est nécessaire de mesurer la limite de résistance des sources à la température ordinaire et aux températures d'incendie et d'incinération (800°C et 1300°C respectivement) conformément aux spécifications des paragraphes 2.2.1 et 2.2.2 appendice 1 du document précité).

---

<sup>+</sup> Agence de l'Energie Nucléaire de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique.

## II - METHODE ET APPAREILLAGE

Le but de cette expérience est d'introduire une pression de plus en plus forte à l'intérieur de la source jusqu'à ce que celle-ci se fissure puis de mesurer cette pression.

### 2.1. Méthode

Le Laboratoire National d'Essais de Paris a effectué tous les essais. Bien que la réalisation paraisse assez simple, de nombreux problèmes se sont posés, surtout à haute température.

La conception des sources laissait envisager une rupture probable soit dans la partie cylindrique, soit dans la zone de soudure; c'est pourquoi nous avons adopté un montage permettant la déformation du fond, des parois latérales et de la zone de soudure (figure 1). Un essai préliminaire avec un montage différent, introduisant la pression par le fond de la capsule de tantale, et utilisant un couvercle normal, nous a permis de vérifier le bien fondé de cette hypothèse, puisque la rupture se produisait sur la paroi latérale vers la zone de soudure.

Nous avons donc modifié le couvercle de tantale ; l'arrivée de la pression se fait par l'intermédiaire d'un queusot (diamètre intérieur 1 mm et diamètre extérieur 3 mm) (voir figure 1). Ce couvercle est soudé par bombardement électronique selon le procédé habituel. La seule modification de la gaine de platine iridié est le perçage d'un trou dans le couvercle pour permettre le passage du queusot. Cette deuxième gaine est alors soudée par le procédé héliarc également utilisé pour les sources (voir figure 1).

Cette source est alors placée dans le montage décrit figure 1. L'écrou, évidé en son centre, est nécessaire pour maintenir en place la capsule au moment de la mise en pression.

N° source	Température d'essai (°C)	Pression limite atteinte (bars)	Résultats
1	20	5060	Rupture dans la zone de soudure
2	20	4800	idem
3	600	4000	Après 3 mn de maintien légère déformation du fond.
4	600	4000	Déchirure du fond.
5	600	4000	Après 4 mn de maintien légère déformation du fond.
6	600	3500	Criques au fond (probablement défauts dans le platine iridié à l'origine).
7	1000	2100	Déchirure du fond.
8	1000	2500	Fissuration du fond.
9	1100	2300	Fissuration
10	1200	1800	Fissuration
11	1230	1700	Fissuration
12	1300	1200	Source intacte
13	1300	840	"
14	1300	1400	"
15 <sup>+</sup>	1300	1200	Nouveau montage (jeu latéral augmenté) voir fig. 2. Crique sur le queue-sot de tantale.
16 <sup>+</sup>	1300	1400	idem
17	1300	2000	Fissuration
18	1300	2100	Fissuration

<sup>+</sup> Les essais 15 et 16 ne sont pas à prendre en considération.

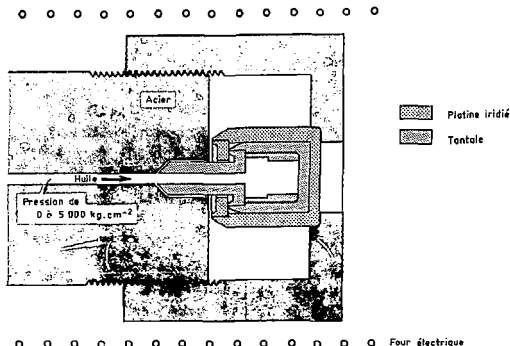


Fig.1 ...Dispositif pour l'étude de la tenue à la pression interne des capsules entre 20 et 1300 °C.

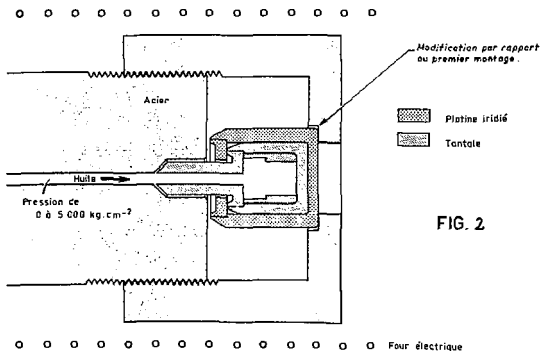


FIG. 2

Dispositif pour l'étude de la tenue à la pression interne des capsules entre 20 et 1300 °C.  
(Deuxième montage)

// TROISIEME PARTIE //

ESSAIS D'INCINERATION A 1300°C

Le document SEN/GESP (70) 3 (final) de l'Agence pour l'Energie Nucléaire intitulé : "Normalisation relative à la conception, à la construction, aux essais et au contrôle des stimulateurs cardiaques alimentés par des sources radioisotopiques" définit les spécifications concernant l'essai d'incinération. Le paragraphe 2.2.2 de l'appendice 1 indique : "la source doit être maintenue à une température de 1300°C pendant 30 minutes ; elle doit se trouver alors à la pression maximale qu'elle serait susceptible d'atteindre pendant la durée de vie utile de l'appareil si elle était soumise à cette température". Le paragraphe 1.8. de l'appendice 1 précise que "lorsque cela est possible, des essais de prototypes doivent être exécutés sur des stimulateurs complets ainsi que sur la batterie et sur la source radioisotopique afin de tenir compte des interactions physiques et chimiques susceptibles de se produire entre des composants dissemblables du système sous l'action de contraintes ou d'effets autres, tels que la formation de pigures de corrosion. Ce point revêt une importance particulière notamment pour les essais relatifs aux incendies et à la corrosion".

Pour répondre à ces spécifications, on a été amené à procéder à des essais d'incinération de sources, de batteries et de stimulateurs complets.

A/ ESSAIS D'INCINERATION DE SOURCES INACTIVES DE  
TYPE STA AVEC PRESSION INTERNE

I - METHODE ET APPAREILLAGE

1.1. Méthode

Deux capsules de tantale ont été soudées sous vide par bombardement électronique (comme les capsules chargées en  $^{238}\text{Pu}$ ). Ensuite une pression interne de  $30 \text{ kg/cm}^2$  qui représente la pression atteinte dans la capsule au bout de la vie utile de 10 ans, a été obtenue suivant le procédé décrit au paragraphe 2.2. de la première partie. La pression interne dans la capsule de tantale est alors de  $140 \text{ kg/cm}^2$  à  $1300^\circ\text{C}$  et de  $160 \text{ kg/cm}^2$  à  $1570^\circ\text{C}$ .

Cette capsule de tantale est ensuite placée dans une gaine de platine iridié qui est soudée par héliarc (plan figure 1), procédé TIG.

L'essai d'incinération, par lui-même, ne pose pas de difficultés particulières puisqu'il n'y a pas de plutonium et que les dimensions réduites de la "source" inactive ont permis l'utilisation de fours classiques à résistance. L'étanchéité a été mesurée par ressuage d'hélium avant et après essai selon la technique habituelle (voir paragraphe 2.3. de la première partie).

1.2. Appareillage

Four à résistance et tube d'alunine, fonctionnant sous air - marque ADAMEL type CT 1500.

Mesure de la température - Thermocouple normalisé Pt-10 Rh. La température est enregistrée sur un appareil de marque MECI type Speedomax.  
Précision à  $1300^\circ\text{C}$  :  $\pm 2^\circ\text{C}$

Les mesures de ressuage d'hélium ont donné les résultats suivants :

- Flux de fuite avant cet essai  $1,3 \times 10^{-9} \text{ atm cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Flux de fuite après cet essai  $3,7 \times 10^{-9} \text{ atm cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Une neutronographie a été faite après cet essai (figure 5) ; elle montre la bonne tenue de cette source.

### III - CONCLUSION

Les sources résistent parfaitement bien au test d'incinération à 1300°C, sous air, avec une pression interne correspondant à celle attendue au bout de 10 ans. Un essai jusqu'à 1570°C montre également leur bonne tenue à cette température extrême.

Il est rappelé que ces deux essais étaient destinés à étudier la tenue des sources à haute température, sous air et qu'elles ne contenaient pas de plutonium.

La compatibilité avec le plutonium a été étudiée par ailleurs : se reporter aux "Etudes de sécurité sur les sources scellées de  $^{238}\text{Pu}$  pour stimulateurs cardiaques". R. BOUCHER - P. BARTHELEMY - C. MILET.

Deuxième Symposium International sur l'Energie d'Origine Radio-isotopique - Compte rendu publié par l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques - p. 827 à 848.

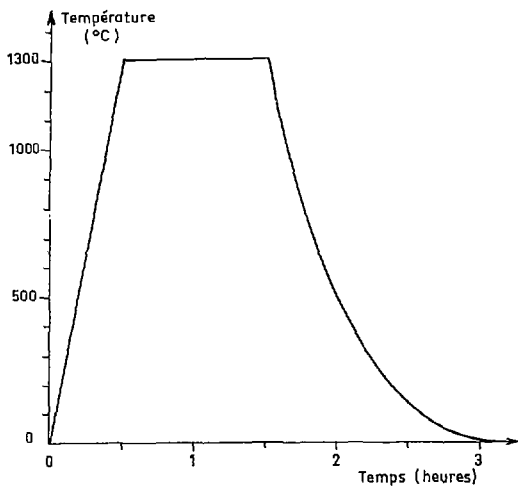


Figure 2 - 1er essai d'incinération d'une source (1 h à 1300°C)



Figure 3 - Neutrographie de la source après 1 h à 1300°C



## B/ ESSAIS D'INCINERATION DES BATTERIES THERMOELECTRIQUES

### I - METHODE ET APPAREILLAGE

Nous avons fourni à la Société CIT-ALCATEL<sup>+</sup>, deux sources, sans plutonium, ayant déjà subi un essai mécanique d'écrasement qui les a légèrement déformées. Ces deux sources ont été montées dans deux batteries (figure 1 - radiographie des deux batteries) et celles-ci ont été portées à 1300°C, l'une pendant 1 h, l'autre pendant 6 h.

#### 1.1. Appareils utilisés

Les dimensions réduites de ces batteries et l'absence de plutonium nous ont permis d'utiliser un appareillage classique.

Four à résistance et tube d'alumine, fonctionnant sous air - marque ADAMEL type C<sup>r</sup> 1500.

Mesure de la température - Thermocouple normalisé Pt - Pt 10 Rh. La température est enregistrée sur un appareil de marque MECI type Speedomax. Précision à 1300°C :  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### II - RESULTATS

#### 2.1. Essai n° 1

Une batterie (n° 1) a été placée dans le four froid. La montée en température jusqu'à 1300°C s'est effectuée en 30 mn et la température a été maintenue à 1300°C pendant 1 h, puis le

---

<sup>+</sup>CIT-ALCATEL - Centre Pierre Herreng - 91-Bruyeres-le-Châtel

(tension de vapeur très élevée : 10 mm de mercure à 633°C, 760 mm de mercure à 990°C) et en bismuth (100 mm de mercure à 1270°C). Les points de fusion du tellure et du bismuth sont respectivement de 450°C et 271°C.

### III - CONCLUSION

Ces deux essais, extrêmement sévères par rapport aux spécifications de l'Agence de l'Energie Nucléaire, nous ont montré que le problème primordial était l'attaque de la gaine extérieure (en platine iridié) de la source par les constituants des thermocouples (tellure et bismuth).

En réagissant avec le tellure et le bismuth, cette enveloppe externe joue un rôle protecteur vis-à-vis de la gaine interne de tantale, qui conserve son rôle d'enceinte de confinement du plutonium 238.

Soulignons, enfin, qu'une température de 1300°C ne serait atteinte, dans un feu industriel, qu'au bout de 8 heures d'incendie (voir figure 6).



Figure 3 - Batteries avant et après essai à 1300°C (1 h)

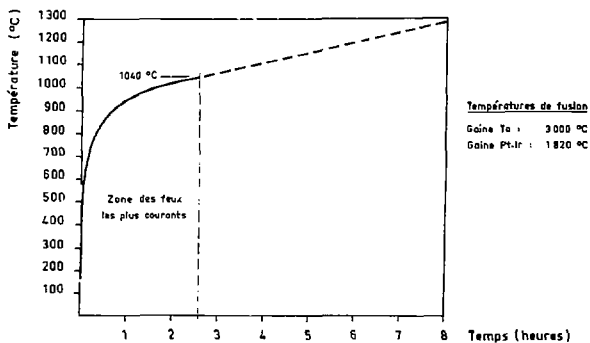


Fig. 6 - Feux industriels - Courbe standard américaine.  
(d'après NUMEC 3731-23)

### 1.3. Problèmes thermique

L'ensemble (réceptient + stimulateur) est porté à 1300°C dans une enceinte étanche de dimensions réduites (boîte à gants 100 x 65 x 70 cm). Trois écrans d'amiante sont placés autour de la zone chaude pour protéger les parois de plexiglass de la boîte à gants.

Il n'est pas seulement nécessaire de protéger les parois mais il faut encore évacuer l'air chauffé en permanence pendant au moins 30 mn (plus les temps de montée en température et de refroidissement) auquel s'ajoutent les gaz de combustion provenant du stimulateur. L'essai se fait par conséquent sous un balayage d'air qui entre par la partie inférieure des écrans et qui est canalisé directement vers l'aspiration de la boîte par l'intermédiaire d'un tube et d'un piège refroidi (figure 2) ; ce piège refroidi a également pour rôle de protéger le filtre d'aspiration de la boîte à gants (voir schéma général figure 3).

### 1.4. Mesure de la température

En raison du mode de chauffage, il n'est pas possible d'utiliser des thermocouples. Nous avons utilisé un pyromètre optique à disparition de filament, en visant la paroi de titane du stimulateur à l'intérieur du conteneur d'acier inoxydable.

Pour étalonner le pyromètre, nous avons utilisé une méthode empirique, c'est-à-dire qu'on a comparé la température indiquée par le pyromètre avec les points de fusion de deux composés, l'un étant de l'or pur ( $P_f = 1063^\circ\text{C}$ ) et l'autre un alliage or - palladium (à 80 at % Au) dont le point de fusion est de 1300°C (ces deux corps étant posés à l'intérieur du réceptient à la place du stimulateur).

### 1.5. Caractéristiques techniques de l'installation

<u>Générateur HF</u>	Marque	SEF
	Puissance	12 kW
	Fréquence	400 kc/s

très sensiblement le récipient d'acier) et un bon confinement de la chaleur dans la zone de chauffe alors qu'on se trouvait aux limites des possibilités du générateur haute fréquence utilisé.

## II - RESULTATS

### 2.1. Essais sur maquette sans batterie, ni source mais avec composants électroniques

Une maquette, fournie par la Société MEDTRONIC<sup>†</sup>, a été placée dans le montage décrit ci-dessus. Dans cette maquette, la batterie ALCATEL était remplacée par la résine qui normalement imprègne toute la partie électronique (voir figure 4 - radiographie de la maquette).

#### Première expérience

Au bout de 5 mn de chauffage, la maquette (n° 1) a explosé, et elle a été projetée hors de la zone de chauffe en soulevant le couvercle du récipient d'acier. La température n'était pas encore mesurable au pyromètre, donc inférieure à 700°C.

C'est l'enveloppe extérieure de titane qui a cédé sous la pression des gaz due à la décomposition de la résine (figure 5).

#### Deuxième expérience

On a replacé la même maquette (n° 1) dans le récipient d'acier et nous avons recommencé la même expérience, que précédemment.

---

<sup>†</sup> MEDTRONIC - 3055 Old Highway Eight - MINNEAPOLIS Minnesota USA

Le chauffage était stabilisé lorsqu'il y avait un dégagement de fumées et repris à la disparition de celles-ci (figure 7). Le premier dégagement se produit à une température assez basse (la fumée abondante envahit toute la boîte à gants et nous empêche de mesurer avec exactitude la température) ; le deuxième dégagement débute à 850°C, il est moins abondant et se limite à la zone de chauffe; il s'est poursuivi jusqu'à la fin de l'expérience.

Le temps passé au-dessus de la température de fusion du tellure de bismuth (585°C) peut être estimé à 1 heure au minimum. Les figures 8 et 9 montrent l'aspect extérieur du stimulateur ainsi que l'état des circuits électroniques encore présents.

Mis à part une oxydation normale de l'enveloppe extérieure en titane, celle-ci a très bien résisté et elle n'est pratiquement pas déformée.

## 2.2 Essais sur maquette avec batterie et source (sans plutonium) mais sans électronique

Des sources normales (sans plutonium) ont été montées dans des batteries par la Société CIT-ALCATEL. Ces batteries ont été placées dans des boîtiers de stimulateur, les circuits électroniques étant remplacés en partie par de la résine.

### Première expérience

Cette opération s'est déroulée sans incident en adoptant le même processus que pour la maquette précédente (trait de scie dans le boîtier extérieur, stabilisation de la montée en température à l'apparition des fumées). Le dégagement de fumées est très abondant à basse température, mais on n'a pas observé de deuxième dégagement vers 850°C; celui-ci est donc provoqué par la combustion des circuits électroniques. La température de 1300°C a été atteinte au bout de 1h 10 mn (figure 10).

### 2.3. Essais sur des stimulateurs avec source ( $^{238}\text{Pu}$ ), batterie et circuits électroniques

La Société MEDTRONIC nous a fourni deux stimulateurs portant les numéros 0051 et 0061. Les sources correspondantes portent les numéros 0034 (encapsulage tantale le 7.4.1971) et 0091 (encapsulage tantale le 14.9.1971). Dans les deux cas le couvercle de tantale, ainsi que l'intérieur de la gaine de tantale étaient carburés.

Les figures 18 et 19 montrent la structure interne du stimulateur 0051 obtenu par radiographie et neutronographie.

#### 2.3.1. Première expérience - Stimulateur n° 0051

Cet essai s'est déroulé selon le processus mis au point avec les maquettes précédentes ; on a retrouvé les mêmes dégagements de fumées ; la température de  $1300^{\circ}\text{C}$  a été atteinte au bout de 1h 07 mn. Le temps passé au-dessus de la température de fusion du tellure de bismuth ( $585^{\circ}\text{C}$ ) est supérieur à une heure (figure 20).

#### - Aspect des différents éléments du stimulateur

Le boîtier extérieur de titane a exactement le même aspect que celui des maquettes.

La batterie conserve son intégrité (figure 21) ; on remarque cependant une fissure dans la zone de soudure du couvercle. Ce couvercle s'est détaché, en serrant le corps de la batterie dans un étau pour récupérer et examiner la source. Nous n'avions pas observé de fissure sur les batteries utilisées dans les maquettes précédentes, dont la date de fabrication est récente.

Le quercusot en cuivre placé sur l'embase de la batterie a fondu. La source conserve sa place dans la batterie et on observe de nombreuses fissurations de la gaine de platine iridié qui présente un aspect analogue à celui de la figure 16.



jouer son rôle de confinement, puisqu'il n'y a pas de diffusion du plutonium 238 vers l'extérieur. Il faut noter également que les enveloppes en titane de la batterie et du stimulateur ne sont pas détruites et qu'elles sont encore susceptibles d'assurer une protection supplémentaire de la source.

*Manuscrit reçu le 26 mars 1973*

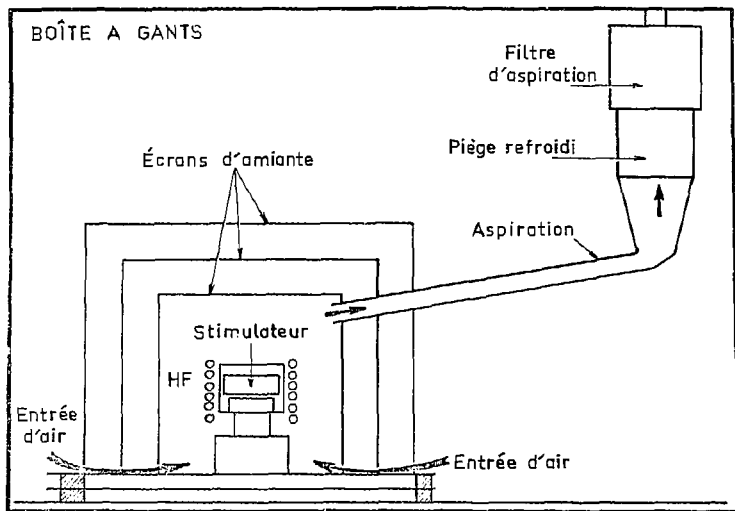


Fig. 3 ... Schéma de principe .

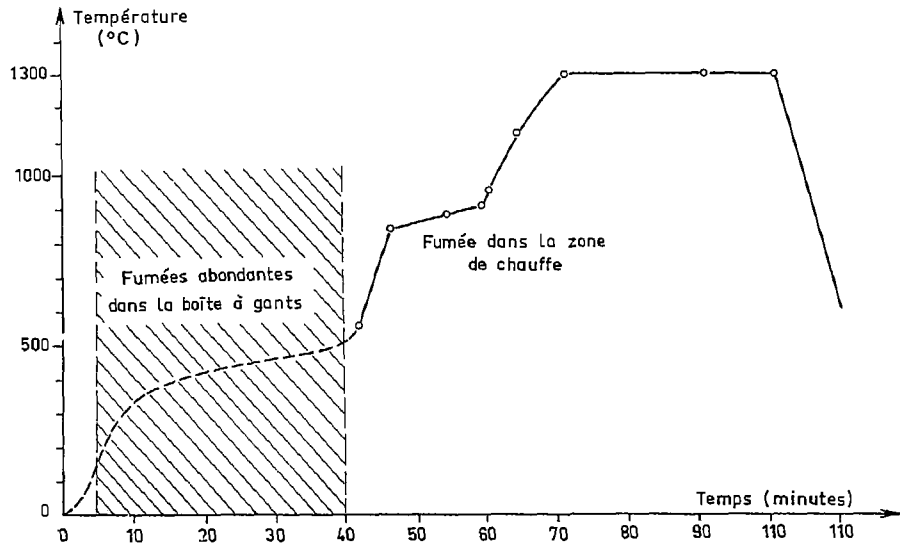


Figure 7 - Température atteinte par le stimulateur en fonction du temps (3-1- 4<sup>è</sup> expérience)

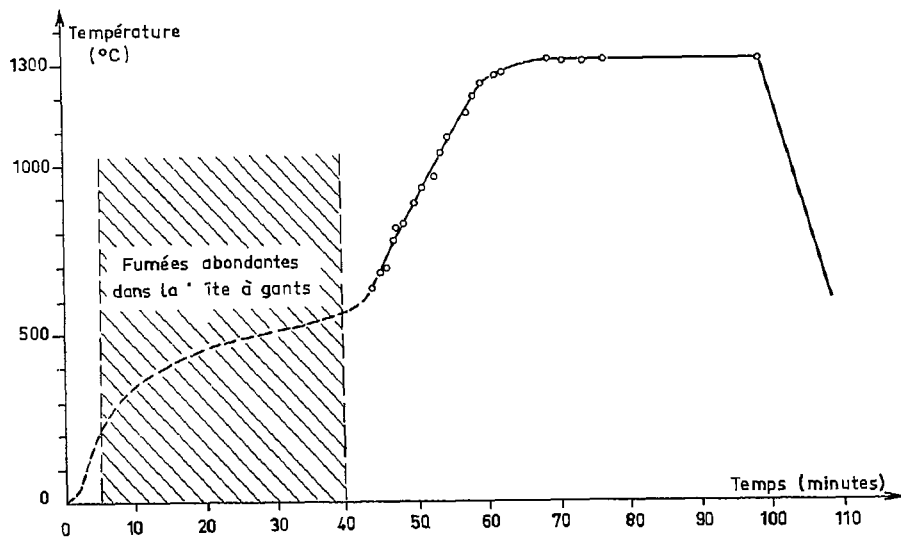
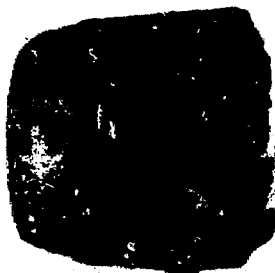
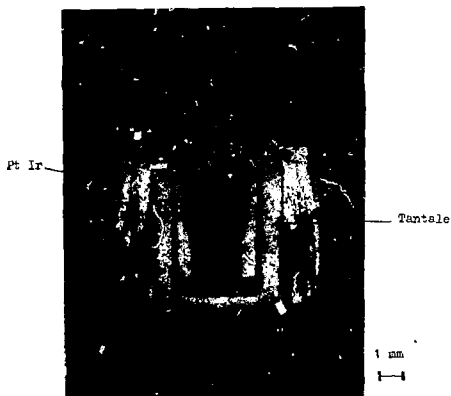


Figure 10 - Température atteinte par le stimulateur en fonction du temps  
(3-2 - 1ère expérience)



12 c - vue latérale (Pt Ir)



$G = 6$

Figure 13 - Macrographie de la source après tronçonnage

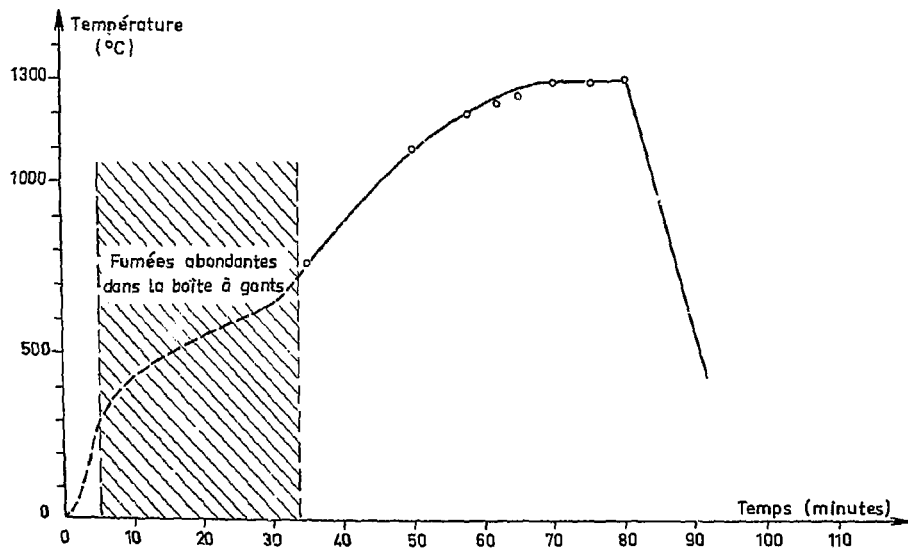


Figure 14 - Température atteinte par le stimulateur en fonction du temps  
(3-2 - 26 expérience)



Figure 15 - Vue de la batterie



Figure 16 - Vue de la source  
(essai 3.2. - 2<sup>e</sup> expérience)

Zone de contact avec les éléments  
de tellure de bismuth

Capsule de Pt Ir

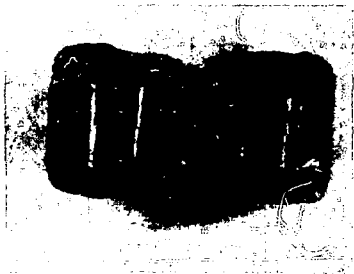


Figure 17 - Vue de la gaine de  
tantale après tronçonnage

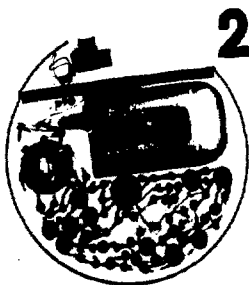


Figure 18 - Radiographie du stimulateur avant essai



Figure 19 - Neutrographie du stimulateur avant essai



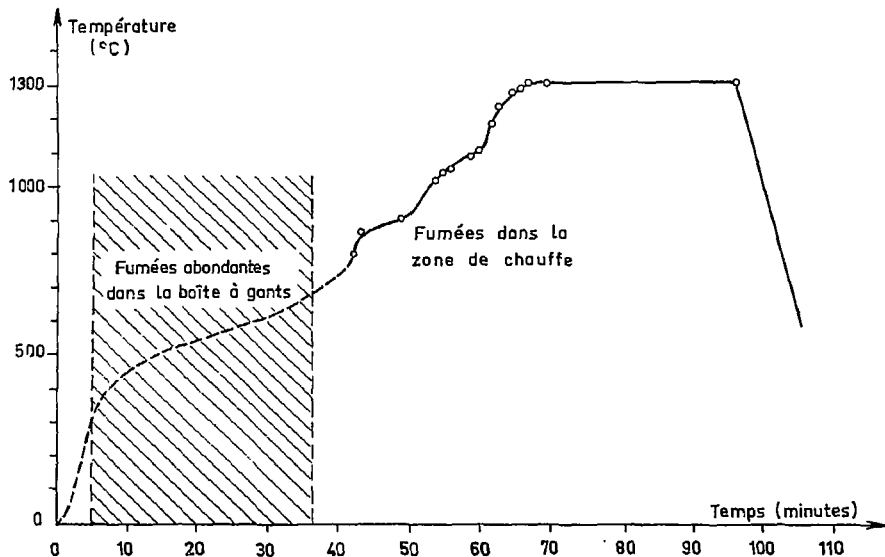


Figure 20 - Température atteinte par le stimulateur en fonction du temps  
(3-3- stimulateur 00051)



Figure 21 - Vue de la batterie  
(stimulateur C051 - 30 mn  
à 1300°C)



Tantale

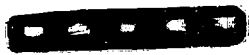
Tube assurant le maintien de la  
pastille de  $^{238}\text{Pu Sc}$

$^{238}\text{Pu Sc}$

Figure 22 - Macrographie de la source  
après tronçonnage

1mm

G.C



*La diffusion, à titre d'échange, des rapports et bibliographies du Commissariat à l'Energie Atomique est assurée par le Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).*

*Ces rapports et bibliographies sont également en vente à l'unité auprès de la Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.*

*Reports and bibliographies of the Commissariat à l'Energie Atomique are available, on an exchange basis, from the Service de Documentation, CEN-Saclay, E.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).*

*Individual reports and bibliographies are sold by the Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.*

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