

# GENERATEUR THERMOIONIQUE ISOTOPIQUE

par

Max CLEMOT , Bernard DEVIN

Jean-Paul DURAND

**Rapport C E A - R 3418**

**1967**

Ca

CENTRE D'ETUDES  
NUCLÉAIRES DE SACLAY

CEA-R-3418 - CLEMOT Max, DEVIN Bernard,  
DURAND Jean-Paul

### GENERATEUR THERMOIONIQUE ISOTOPIQUE

Sommaire. - Ce rapport décrit la structure d'un générateur spatial d'électricité à conversion directe du type thermoionique. La source d'énergie est un radioisotope.

Deux isotopes sont envisagés : le Pu 238 et le Cm 244. Le système comporte pour l'émetteur un caloduc concentreur de flux thermique et pour le collecteur, un caloduc évacuateur vers l'enveloppe du générateur utilisé en panneau rayonnant.

Les calculs ont été conduits dans le cas particulier d'une puissance convertie de 100 watts électriques.

1967

27 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

---

CEA-R-3418 - CLEMOT Max, DEVIN Bernard,  
DURAND Jean-Paul

### ISOTOPIC THERMOIONIC GENERATOR

Summary. - This report describes the general design of a thermoionic direct conversion space generator. The power source used is a radioisotope.

Two radioisotopes are considered : Pu 238 and Cm 244. The system is made up of a heat pipe concentrating the thermal flux from the isotope to the emitter, and of a second heat pipe evacuating the waste heat from the collector to the outer wall used as radiating pannel.

Calculations are given in the particular case of a 100 electrical watts output power.

1967

27 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

---

- Rapport CEA-R 3418 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay  
Service d'Electronique Physique

GENERATEUR THERMOIONIQUE ISOTOPIQUE

par

Max CLEMOT, Bernard DEVIN, Jean-Paul DURAND

*Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VIIème.*

- Décembre 1967 -

## GENERATEUR THERMOIONIQUE ISOTOPIQUE

### I. INTRODUCTION

La conversion thermoionique est particulièrement adaptée à la production d'énergie de servitude pour des appareils terrestres ou spatiaux à longue durée de vie à partir de 50 watts électriques.

Là où un faible encombrement et un poids réduit sont indispensables, l'emploi des radioisotopes à grande période et à forte densité de puissance volumique qui sont en général des émetteurs  $\beta$  et  $\gamma$  et qui nécessitent d'importantes précautions dans les manipulations, affecterait sensiblement le poids du générateur en raison du blindage.

Par contre, depuis la mise au point des caloducs (1) il est possible de réaliser des générateurs à fort flux thermique bien que la source de chaleur soit constituée de radioisotopes à émission  $\alpha$  à longue période ayant en général une faible densité de puissance volumique.

Dans l'étude présente, nous n'avons retenu que deux radioéléments : le Pu 238 et le Cm 244.

Comme nous le verrons par la suite, le premier est beaucoup moins avantageux que le second, mais il pourrait être disponible plus rapidement en quantité importante.

## II. DISPOSITION GENERALE (fig. 1).

Nous ne rappellerons pas le principe de la conversion thermoionique, celle-ci a déjà fait l'objet de nombreuses communications [2]. Le schéma d'un convertisseur se trouve sur la figure 2.

Le radioisotope, source de chaleur, est enfermé dans une capsule épaisse de tungstène qui forme elle-même la paroi intérieure de l'évaporateur d'un caloduc au plomb dont le condenseur est l'émetteur du convertisseur thermoionique. Le rapport de concentration de flux nécessaire du caloduc (rapport de la surface de l'évaporateur à la surface du condenseur) dépend naturellement du radioisotope choisi. Il faut disposer sur l'émetteur du convertisseur d'un flux thermique de  $50 \text{ W/cm}^2$  à la température de  $1800 \text{ }^\circ\text{K}$ .

Le refroidissement du collecteur du convertisseur est assuré par un second caloduc à basse température en acier inoxydable avec le sodium pour fluide moteur : dans le modèle spatial, l'énergie non convertie est évacuée par rayonnement. L'enveloppe extérieure du caloduc constitue un boîtier étanche, protecteur des éléments à haute température : cartouche, caloduc-émetteur et convertisseur.

L'isolement thermique convenable entre la source chaude et la source froide est assuré soit par un gainage compact de laine de zircon, soit par la disposition d'un matériau composite multi-couches jouant le

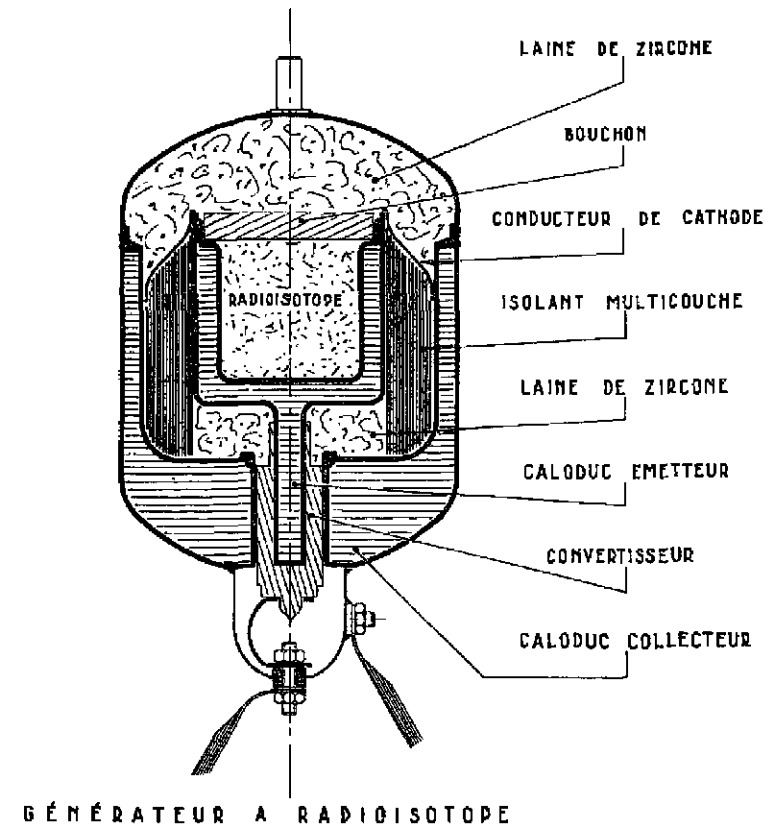


FIG. 1

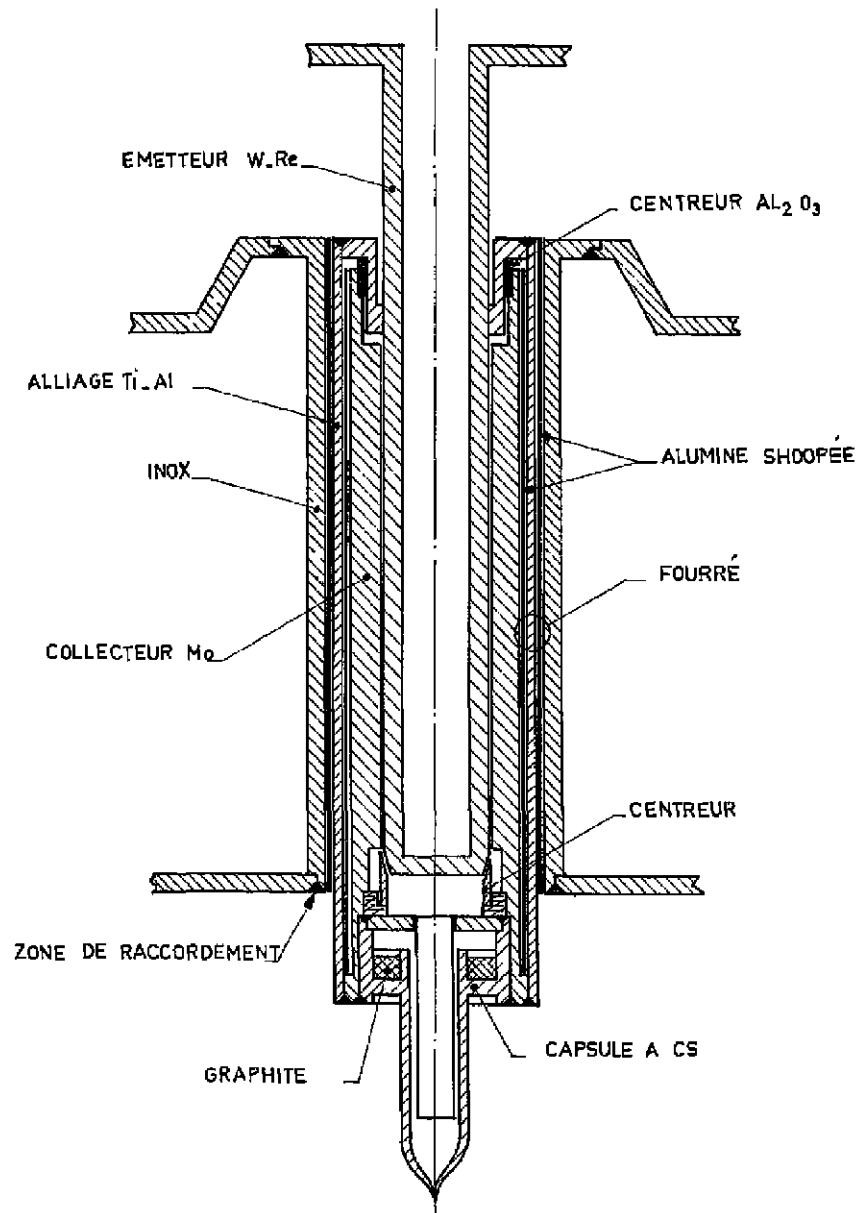


FIG. 2

rôle d'écrans multiples, soit par une structure isolante poreuse appropriée [3].

### III. SOUS-ENSEMBLES

#### III.1. Capsule chauffante

La disponibilité du radioisotope, sa puissance spécifique, sa période et le blindage nécessaire en dictent le choix.

Sur le tableau 1 nous avons rassemblé les données relatives à 4 éléments de base :  $Po_{210}$ ,  $Cm_{242}$ ,  $Pu_{238}$  et  $Cm_{244}$  et à leurs composés connus correspondants.

Pour le plutonium et ses composés, on remarquera une certaine dispersion des valeurs données pour les puissances spécifiques. Elle semble due à des teneurs différentes en impuretés et à des composés frittés de façon dissemblable.

D'une manière générale, les carbures présentent une meilleure conductibilité thermique que les oxydes, on préférera donc prendre  $PuC$  à la place de  $PuO_2$ , dans la mesure où il possède une bonne compatibilité chimique avec le matériau de gainage, à haute température.

Sur le tableau II nous avons rassemblé les caractéristiques de différentes charges de radioisotopes donnant une puissance thermique de 1 kilowatt.

TABLEAU 1

Elément	Forme	Période [an]	Puissance spécifique [W/g]	Puissance volumique [W/cm <sup>3</sup> ]	Densité	θ fusion [°C]	Remarques	Réf.
Po 210	PoO <sub>2</sub>	0,38	134				Période trop courte	
Cm242	Cm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,445	98				" " "	
Pu 238	Pu	90	0,55	9,1	16,5	640°	90 % pur	[4]
			0,5	8,2	16,5			[5]
	PuC		0,52	7,1	13,6	1 650°	pur 90% pur, 94% dense par irradiation de Np 237	[4]
			0,48	6	12,5	1 654°		[5]
	PuO <sub>2</sub>		0,49	5,1	11,46	1 240°	90% pur et moins dense que 100 % 70% teneur mass. Pu pur et composé à 80% de densité théorique le même avec dens. 100 %	[4]
			0,44	4,4	10	1 750°		[5]
			0,39	3,5	8,9			[6]
			0,39	4,5	11,46			
Cm 244	Cm	18	2,8	37,8	13,5	950°	Pt de fusion trop bas	[5]
	Cm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,55	27,3	10,7	> 1 500°		[5]
	CmC		2,67	26,7	10	950°	Pt de fusion trop bas	[5]
	CmO <sub>2</sub>		2,48	29,1	11,75	> 1 500°		[5]

TABLEAU II

Composés	Conductiv. thermique [W/°C x cm]	Temps de fusion [°C]	Coefficient dilatation	Puis. spéc. volumique [W/cc]	Vol. néc. 1 000 W [cc]	Poids [g]	Densité
Cm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		> 1 500		27,3	36,6	392	10,7
CmO <sub>2</sub>		> 1 500		29,1	34,4	404	11,75
PuO <sub>2</sub>	0,023	2 240	11.10 <sup>-6</sup>	4,4	225	2 617	11,46
Pu C	0,20	1 650	10.10 <sup>-6</sup>	6	167	2 717	13,6
U <sub>★</sub> Pu C 0,27 0,73 ★ atomique	0,25	2 000		4,4	225	2 500	

Remarque :

L'augmentation de pression dans la capsule par libération de l'hélium de désintégration est mal connue. Le risque maximum correspond au dégagement de tous les atomes d'hélium hors de la masse de radioélément, il est de  $0,76 \text{ cm}^3$ . dans les conditions normales de température et de pression, pour 10 000 heures de fonctionnement et par watt thermique. La présence d'un volume libre capable de recevoir cette quantité de gaz à l'intérieur de la capsule même réduirait par trop la puissance spécifique superficielle pour que le générateur à conversion thermoionique soit intéressant ; d'autre part, l'étanchéité à l'hélium et à haute température d'une paroi de tungstène n'est pas connue.

Il semble préférable de définir des conditions permettant de faire diffuser l'hélium produit à travers la paroi de la capsule, ou à travers une zone à porosité contrôlée.

III. 2. Caloduc émetteur

Développés d'abord à Los Alamos par G. GROVER, et ensuite en Europe à Ispra [7] [8] [9] les caloducs à haute température fournissent un moyen aisé de concentrer le flux thermique sur de petites surfaces avec un gradient thermique négligeable. Aux températures convenant à la conversion thermoionique ( $1\ 500\ ^\circ\text{C}$ ) les études les plus récentes montrent que la combinaison  $\text{W / Pb}$  est susceptible de durée de vie satisfaisante.

Le caloduc émetteur est annulaire à l'évaporateur où il reçoit la cartouche de radioélément. Il est soudé directement à l'émetteur du convertisseur thermoionique avec lequel il forme un tout.

III. 3. Convertisseur

Représenté sur la figure 2, le convertisseur ne comporte pas de scellement métal-céramique. La séparation électrique entre les électrodes de sortie est assurée par un tube de forte résistance électrique en alliage de titane [10]. La puissance électrique dérivée dans ce tube est évidemment une perte mais elle est largement compensée par l'augmentation de robustesse du convertisseur.

Le "fourré" composite de collecteur comporte le collecteur lui-même, le tube résistant et la paroi en acier inoxydable du caloduc collecteur, séparés par shoo-page d'alumine et assemblés par pressage isostatique à haute température. Le caloduc de collecteur est rapporté par soudure ainsi que le caloduc émetteur. Le césium nécessaire au fonctionnement de la diode est contenu à la température du collecteur dans un bloc de graphite. On s'affranchit de la nécessité d'un point froid à  $300\ ^\circ\text{C}$  [11].

Les convertisseurs thermoioniques ont dépassé aux essais des durées de fonctionnement de 10 000 heures aux U.S.A. et de 4 000 heures en France (C.E.A.).

Le tableau III résume les caractéristiques géométriques d'un convertisseur prévu pour donner 100 watts électriques.

Les caractéristiques thermiques et électriques du convertisseur sont les suivantes :



T A B L E A U III

	Matériau	Diamètre intérieur (mm)	Diamètre extérieur (mm)	Evaporateur (mm)	Longueur (mm)	Surface latérale (mm <sup>2</sup> )	Flux thermique (W/cm <sup>2</sup> )	Rendement du convertisseur
Emetteur	W-Re 26%	6,6	10,6	2	60	int. 1245 ext. 2000	80 50	13%
Collecteur	Mo	11	14	1,5	60	ext. 2640	33	
Espaceur inter-électrode	Vide Cs (vsp)			0,2				10,6%
Couche isolante	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14	14,4	0,2				
Tube résistant	Al de II	14,4	14,9	0,25	80			81,7%
Couche isolante	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,9	15,3	0,2				
Evaporateur caloduc collecteur	Inox.	15,3	19,3	2	68	ext. 4120	22	

Caractéristiques géométriques d'un convertisseur de 100 W électrique

Flux thermique à l'émetteur	50 W/cm <sup>2</sup>
Densité de courant	10 A/cm <sup>2</sup>
Flux thermique au collecteur	33 W/cm <sup>2</sup>
Tension de sortie	0,65 volt
Rendement brut de conversion	13 %
Fraction de courant dérivé dans l'alliage résistant	0,18
Rendement net de conversion	10,6 %
Puissance électrique disponible	163 A x 0,65 V.

### III. 4. Caloduc-collecteur

Etudié par M. SEMERIA [9], la combinaison sodium/acier inoxydable semble tout à fait satisfaisante quel que soit le champ de pesanteur.

Pour des engins spatiaux l'équilibre thermique s'établit par le rayonnement de la surface extérieure. Sa température est alors de l'ordre de 750 °K pour une émissivité de 0,5. Le réglage optimum du convertisseur s'effectue par un petit écran extérieur au caloduc, réglable au montage, qui modifie la surface effective rayonnante et par conséquent la température du collecteur.

### IV. CALCUL D'OPTIMISATION DU GENERATEUR SPATIAL

Le générateur est schématisé sur la figure n° 3 ; nous avons calculé les dimensions optimales à donner à la cartouche de radioisotope et au caloduc émetteur de façon à réduire les pertes thermiques au minimum.

Pour mettre en équation le problème, nous nous sommes fixés :

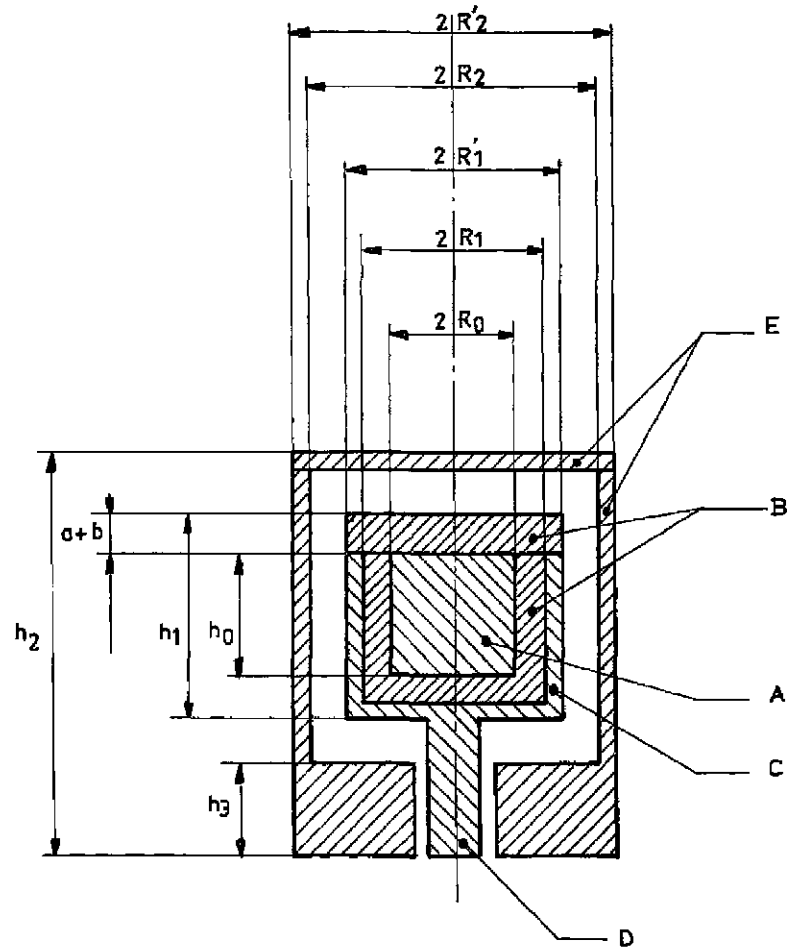


FIG:3

- ① la puissance thermique totale  $P$  fournie par le radioélément,
- ② la densité de puissance volumique  $P_0$  du radioélément
- ③ le rendement net  $\eta$  du convertisseur d'énergie défini comme étant le rapport de la puissance électrique fournie  $W$  à la puissance thermique injectée dans l'émetteur.

IV.1. Hypothèses

Nous avons supposé que les différents ensembles constitutifs étaient cylindriques et de même axe. Si nous nous reportons au dessin de la figure n° 3, nous trouvons :

- 1) En A le radioisotope
- 2) En B le blindage et le chapeau de fermeture de la capsule radioisotopique (cet ensemble très épais sera supposé isotherme en surface).
- 3) En C le caloduc émetteur
- 4) En D le convertisseur thermoelectrique
- 5) En E le caloduc collecteur avec le chapeau de fermeture de l'ensemble que nous supposerons d'épaisseur négligeable.

Dans ces conditions nous avons les relations de base suivantes :

$$\begin{cases} R'_1 = R_0 + a + b & (1) \\ R'_2 = R_2 + c & (2) \\ h_1 = h_0 + 2(a + b) & (3) \end{cases}$$

Par raison de symétrie avec les relations précédentes nous poserons :

$$h_2 - h_3 = h_1 + 2 (R_2 - R'_1) \quad (4)$$

IV. 2. Mise en équations

Nous avons 3 équations de départ :

1 - équation de source chaude :

$$P = \pi \cdot P_o \cdot x \cdot h_o \cdot x \cdot R_o^2 \quad (5)$$

2 - Equation d'enveloppe :

$$P - \pi (P - \pi) = \pi W_e R'_2{}^2 + 2 \pi W_e R'_2 h_2 + \pi W'_e R'_2{}^2 \quad (6)$$

où :

$\pi$  : Perte de la source chaude vers la source froide

$W'_e$  : densité de puissance émise vers l'extérieur par le chapeau du caloduc froid supposé à la température moyenne  $T'$

$W_e$  : densité de puissance émise par la paroi du caloduc froid supposée à la température  $T$ .

Le premier membre de cette équation représente la puissance totale à évacuer vers l'extérieur.

Dans le second membre : le premier terme correspond au rayonnement du fond du générateur,

: le second à celui des parois latérales

: le troisième à celui du couvercle supérieur.

3 - Equation dite "équation des pertes"

$$\pi = 2 \pi \lambda \Delta T \left[ (h_1 - 2 R'_1) \frac{1}{\text{Log} \frac{R_2}{R'_1} \frac{h_1}{h_1 + 2 (R_2 - R'_1)}} + \frac{R'_1 R_2}{2(R_2 - R'_1)} \right] + \pi \lambda \Delta T' \frac{R'_1 R_2}{R_2 - R'_1} \quad (7)$$

Le premier membre de cette équation représente toute l'énergie perdue directement par la source chaude vers la source froide. Dans le second membre, le premier terme correspond aux pertes latérales, le second aux pertes du fond du caloduc émetteur, le troisième terme aux pertes du chapeau du radioisotope.

$\lambda$  est la conductibilité de l'isolant placé entre parois chaudes et parois froides,

$\Delta T$  est le gradient thermique entre caloduc chaud et caloduc froid

$\Delta T'$  est le gradient thermique entre caloduc chaud et le couvercle supérieur.

Du fait que nous avons supposé le couvercle supérieur très mince, il n'y a pratiquement pas d'échange thermique entre celui-ci et le caloduc froid ; dans ces conditions, toute l'énergie qu'il reçoit de la paroi chaude est rayonnée et nous avons une équation supplémentaire d'équilibre:

$$\pi \lambda \Delta T' \frac{R'_1 R_2}{R_2 - R'_1} = \pi W'_e R'_2{}^2 \quad (8)$$

IV.3. Résolution du système

Les pertes de chaleur sont réduites au minimum,  $P$ ,  $P_0$  et  $\eta$  étant fixés, lorsque la surface totale de la source chaude est minimale ; on a alors :

$$h_0 = 2 R_0 \quad (9)$$

(5) devient 
$$R_0^3 = \frac{P}{2 \pi P_0} \quad (10)$$

(3) devient : 
$$h_1 = 2 [R_0 + a + b] = 2R'_1 \quad (11)$$

(4) devient : 
$$h_2 = h_3 + 2R_2 \quad (12)$$

Posons  $R_2 = \alpha R'_1$ , l'équation (7) s'écrit alors :

$$\eta = 2 \pi \lambda \Delta T \left[ \frac{\alpha R'_1}{2(\alpha - 1)} \left( 5 + \frac{\Delta T'}{\Delta T} \right) \right] \quad (12)$$

Pour la commodité du calcul nous poserons :

$$\Delta T = 1800 - T = 1000 (1,8 - \theta) \quad (13)$$

$$\Delta T' = 1800 - T' = 1000 (1,8 - \theta') \quad (14)$$

$$W_e = \xi \sigma T^4 = \xi 5,67 \theta^4 \quad (15)$$

$$W'_e = \xi \sigma T'^4 = \xi 5,67 \theta'^4 \quad (16)$$

Nous appellerons  $\mu$  le rendement du générateur défini comme

le rapport de la puissance électrique délivrée à la puissance thermique totale fournie par le radioélément. On a :

$$\eta = P \cdot \frac{\eta - \mu}{\eta} \quad (17)$$

En tenant compte de (11), (13), (14) et (17), (12) s'écrit :

$$\mu = \frac{\eta}{\alpha - 1} \left\{ \alpha \left[ 1 - \frac{1000 \pi \lambda (R_0 + a + b) [5(1,8 - \theta) + 1,8 - \theta']}{P} \right] - 1 \right\} \quad (18)$$

(3) et (4) deviennent :

$$(3) \rightarrow 1000 \pi \lambda (1,8 - \theta') \frac{\alpha}{\alpha - 1} (R_0 + a + b) = \pi \xi 5,67 \theta'^4 [\alpha (R_0 + a + b) + c]^2 \quad (19)$$

$$(4) \rightarrow P (1 - \mu) = \pi \xi 5,67 \theta^4 [\alpha (R_0 + a + b) + c]$$

$$[(\alpha (R_0 + a + b) + c) \left( 1 + \frac{\theta'^4}{\theta^4} \right) + 2 (h_3 + 2 \alpha (R_0 + a + b))] \quad (20)$$

Si on se fixe  $P$  et  $P_0$  l'équation (10) nous donne  $R_0$ . Si on se fixe alors  $\eta$ ,  $\xi$ ,  $\lambda$ ,  $a$ ,  $b$  et  $c$ , les équations (18), (19) et (20) forment un système de 3 équations à 4 inconnues  $\theta$ ,  $\theta'$ ,  $\alpha$ , et  $\mu$  qui possèdent par suite une infinité de solutions. Nous cherchons la variation de  $\mu$  en fonction de  $\alpha$ .

IV. 4. Applications numériques

Les calculs ont été faits pour deux radioisotopes, PuC (6 W/cc) et CmO<sub>2</sub> (29 W/cc) on se donne :

$h_3 = 6 \text{ cm}$

$a = 1 \text{ cm}$

$b = 0,5 \text{ cm}$

$c = 0,7 \text{ cm}$

T émetteur = 1 800 °K

$\epsilon = 0,5$

$\eta = 10,6 \%$

$P = 1\ 000 \text{ W}$

$\lambda = 7,10^{-4} \text{ watt cm}^{-1} \text{ °K.}$

Avec ces conditions, nous avons rassemblé les résultats numériques dans le tableau IV.

TABLEAU IV

$\alpha$	PuC										CmO <sub>2</sub>													
	R <sub>b</sub> cm	R <sub>d</sub> cm	R <sub>1</sub> cm	h <sub>0</sub> cm	h <sub>1</sub> cm	R <sub>2</sub> cm	R <sub>2</sub> cm	R <sub>3</sub> cm	r <sub>3</sub> cm	T <sub>1</sub> °K	T <sub>2</sub> °K	T <sub>3</sub> °K	T <sub>th</sub> °K	Watt thém. Watt	Watt élect. Watt	$\mu$ %	Volume total de l'émiss. cm <sup>3</sup>	Poids combustible kg	Poids craquelé kg	Poids con- vertis kg	Poids évaporé ps kg	Poids total kg	Poids PuC W/kg	
1,1	2,98	4,46	5,96	8,66	4,98	5,63	15,86	822	788	639	361	32,3	3,83	169	2,717	6,5	0,5	1,000	10,3	5,7	5,7	10,3	5,7	5,7
1,35	-	-	-	-	6,05	6,76	18,10	782	561	243	657	80,2	8,02	259	-	5,5	0,5	2	10,7	7,9	7,9	10,7	7,9	7,9
1,5	-	-	-	-	7,17	7,87	20,34	712	486	178	822	87,1	8,71	386	-	5,5	0,5	2,7	11,4	7,55	7,55	11,4	7,55	7,55
1,65	-	-	-	-	8,28	8,99	22,58	671	447	161	348	90	9	573	-	5,5	0,5	3,6	13,3	7,3	7,3	13,3	7,3	7,3
2,1	-	-	-	-	9,41	10,11	24,82	636	410	137	264	81,6	9,16	797	-	5,5	0,5	4,3	13,2	6,9	6,9	13,2	6,9	6,9
1,1	1,784	3,26	3,83	6,60	3,39	4,29	13,18	928	858	426	576	61	6,1	78,2	0,404	2,4	0,5	0,9	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
1,35	-	-	-	-	4,41	5,11	14,92	837	612	183	637	80,7	8,87	121	-	2,4	0,5	1,250	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
1,5	-	-	-	-	5,22	5,92	16,44	810	590	118	681	93,4	9,34	181	-	2,4	0,5	1,7	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
1,65	-	-	-	-	6,04	6,74	18,06	784	479	122	269	95,2	9,52	238	-	2,4	0,5	2,1	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
2,1	-	-	-	-	6,85	7,55	19,76	737	437	92	308	96,8	9,68	363	-	2,4	0,5	2,5	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9

IV. 5. Commentaires sur les résultats

Sur la figure 4 nous avons tracé en fonction de  $\alpha$ , les courbes représentatives des variations de poids, du volume total, du rendement et du rapport puissance sur poids, pour les deux types de générateur envisagé.

Du point de vue spatial le rapport puissance sur poids est primordial. Les caractéristiques du générateur optimal seront :

Pour Pu<sub>238</sub>

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 7,9 \text{ watt/kilo.} \\ \mu = 8,5 \% \\ P_{\text{total}} = 11 \text{ kg} \\ W_e = 85 \text{ watts.} \end{array} \right.$$

Pour Cm<sub>244</sub>

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho' = 19,2 \text{ watt/kg} \\ \mu' = 9 \% \\ P'_{\text{total}} = 4,7 \text{ kg} \\ W'_e = 90 \text{ watts.} \end{array} \right.$$

Par contre dans le domaine des applications terrestres, où le rendement en puissance est le paramètre prépondérant, on accepterait d'avoir un rapport puissance sur poids plus faible et on prendrait par exemple :

Pour Pu<sub>238</sub>

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu = 9 \% \\ \rho = 7,4 \text{ watt/kg} \\ P_{\text{total}} = 12 \text{ kg} \\ W_e = 90 \text{ watts.} \end{array} \right.$$

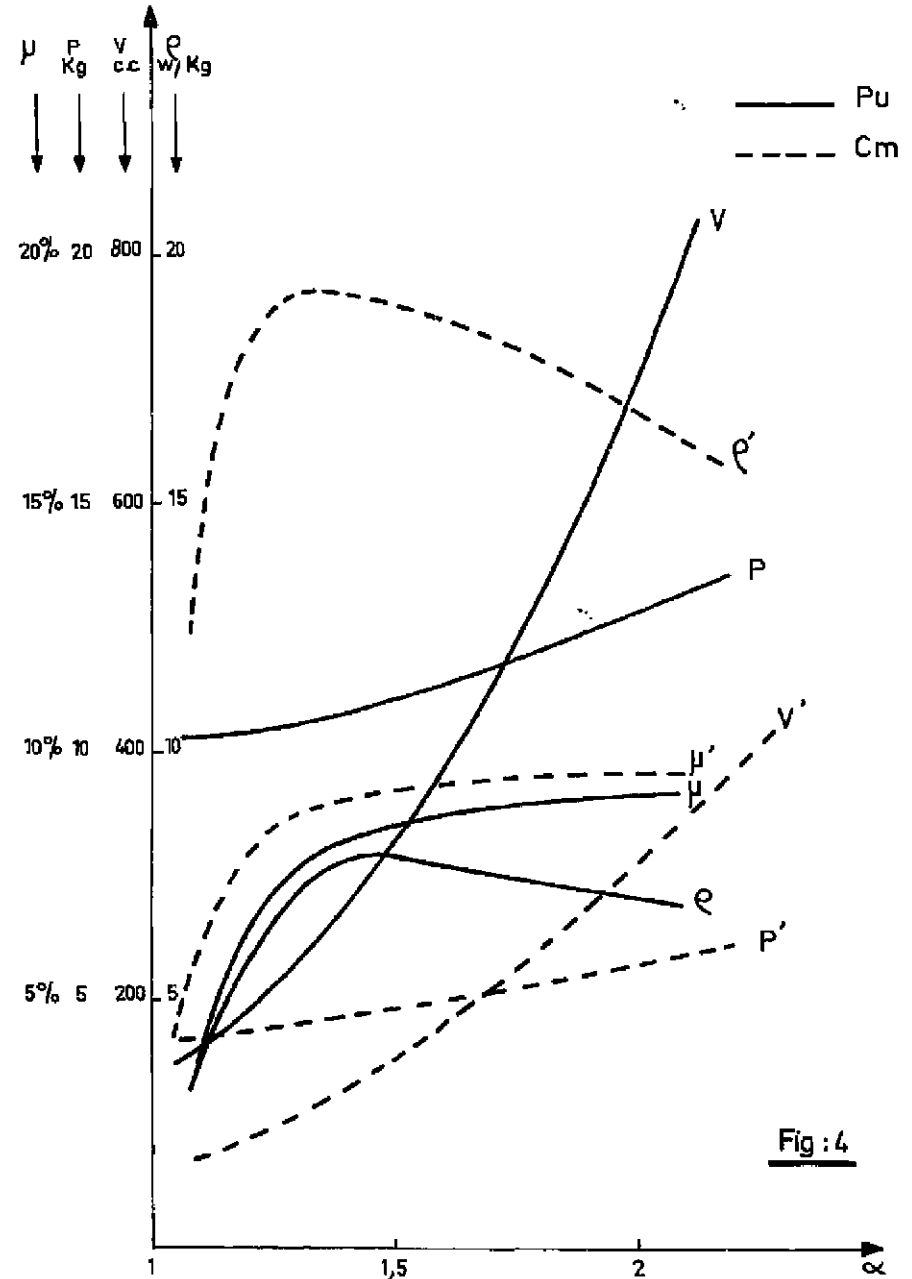


Fig : 4

Pour Cm<sub>244</sub>

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu' = 9,5 \% \\ \rho' = 18 \text{ watts/kg} \\ P'_{\text{total}} = 5,4 \text{ kg} \\ W'_e = 95 \text{ watts.} \end{array} \right.$$

Le choix sera surtout guidé par les conditions d'évacuation de la chaleur non convertie.

#### CONCLUSION

Ce projet a été établi en vue d'évaluer les possibilités réelles d'utilisation des radioéléments avec des convertisseurs thermo-ioniques. Il est bien certain que de nombreuses inconnues subsistent par le fait même que ces radioéléments, non encore disponibles en quantité importante, posent des problèmes particuliers de gainage et de manipulation. Les calculs prouvent qu'un tel générateur est réalisable du point de vue du bilan thermique seul. Il importera maintenant de préciser très exactement les conditions d'emploi et les règles de sécurité qui en découleront pour chiffrer leur influence sur le poids de l'ensemble.

Toutefois, pour les applications spatiales, il serait extrêmement tentant d'utiliser un radioélément à plus forte densité de puissance volumique, de manière à pouvoir loger le radioélément à l'intérieur de l'émetteur de la diode à plasma. Cette solution applicable uniquement à Po 210, Th 228 et Cm 242 conduit, pour la même puissance électrique que les générateurs décrits dans cet exposé, à un poids réduit, tout en conservant les caloducs collecteurs comme radiateur d'énergie.

La disponibilité récente de sources de Co 60 à très forte

puissance spécifique permettrait de concevoir un projet également thermo-ionique, mais cette fois à usage terrestre, d'une puissance minimum de 1 kilowatt et susceptible de servir de source d'énergie électro-mécanique dans des régions d'accès difficile.

REFERENCES.

- [1] GROVER G.M. et al.  
J. Appl. Phys. 35, 1990 (1964)
- [2] DEVIN B., VANDEVYVER M.  
Jour. de Phys. et le Radium, juin 1962, tome 23, p. 73 A  
suppl. (mars 1962)
- HOUSTON J. M.  
Jour. of Appl. Phys., 30, 10, 482 (1959)
- RASOR N. S.  
Symposium on Thermionic Power Conversion, Colorado Springs  
(mai 62).
- [3] WILLIAMS J. A., HUGHES J.  
International Symposium Industrial Applications for Isotopic  
Power generators, Harwell, sept. 28-30, 1966
- [4] BERGER R.  
B.I. S. T. 104, mai 1966

- [5] CORTISS et HARWEY  
Radioisotope power generation, Prentice Hall, 1964
- [6] BEMELMANS P., CONTZEN J. P.  
B. L. G. 330
- [7] BODHAUSKY J., SCHINS H. E. J.  
Thermionic electrical Power generation conference, Londres,  
Oct. 65, Sess. 2
- [8] BUSSE C. A., CARON R. et all.  
Thermionic electrical Power generation conference, Londres,  
Oct. 65, Sess. 2
- [9] SEMERIA R., SCHMIDT E.  
Symposium UKAEA/ENEA, Harwell, Sept. 66
- [10] CLEMOT M., BORDE D.  
Thermionic Electrical power generation conference, Londres  
Sept. 65, Sess. 7. B.
- [11] ALLEAU T., DEVIN B., DURAND J. P.; LESUEUR R.  
Thermionic electrical power generation conference,  
Sept. 65, Sess. 3B.

*Manuscrit reçu le 22 novembre 1967*



**FIN**