

TECHNIQUES DE L'ASTRONAUTIQUE

LES RTG

Les RTG (Radioisotope Thermoelectric Generator) sont utilisés essentiellement par les sondes spatiales destinées à des missions lointaines de longue durée. Notons cependant que les premiers stimulateurs cardiaques étaient dotés de RTG, de son côté l'URSS en avait équipé certains phares côtiers.

Les sondes Lunakhod soviétiques (1970-1973) étaient équipées de tels générateurs.



Lunakhod soviétique

Principe de fonctionnement.

Ils sont utilisés lorsque de faibles puissances électriques sont demandées. (quelques watts à quelques centaines de watts), l'énergie thermique est produite par la désintégration naturelle d'un radio-isotope. La source de chaleur ainsi libérée est utilisée pour alimenter un convertisseur thermoélectrique à effet Seebeck (voir annex1). On obtient ainsi directement une source d'énergie électrique mais avec un faible rendement (1 à 5%).

Loi de décroissance radioactive.

La désintégration d'un noyau radioactif est totalement aléatoire, on ne peut lui donner qu'une certaine probabilité de se désintégrer. Ainsi la probabilité qu'un noyau se désintègre entre les instants t et $t + \Delta t$ est :

$$P = \lambda * \Delta t \quad (1)$$

Où λ est la constante radioactive caractéristique du nucléide considéré et indépendante du temps.

Cela signifie qu'un noyau radioactif de cent mille ans a, à chaque instant, la même probabilité de se désintégrer qu'un noyau qui vient de se former. Pour cette raison, on dit que les noyaux ne vieillissent pas. Il est impossible de prévoir quand un noyau précis va se désintégrer, il a simplement telle probabilité de le faire.

Cependant les échantillons, même à très petites échelles, sont toujours constitués d'un très grand nombre de noyaux. On peut alors établir des lois statistiques qui font intervenir des valeurs moyennes. Ainsi pour un nombre moyen de noyaux radioactifs $N(t)$ présent à l'instant t , il en disparaît pendant la durée dt infiniment petite la quantité :

$$dN(t) = -N(t) \lambda dt \quad (2)$$

Il s'agit d'une équation différentielle du 1^{er} ordre que nous pouvons résoudre. Commençons par séparer les variables :

$$\frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda dt$$

En intégrant les deux membres nous obtenons :

$$\ln N(t) = -\lambda \int dt + \ln C$$

$$N(t) = e^{-\lambda \int dt + \ln C}$$

Soit :

$$N(t) = C * e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Ou C est une constante d'intégration qui dépend des conditions initiales. A l'instant initial t=0, nous avons :

$$N(t) = N_0$$

Soit ;

$$N(t) = N_0 * e^{-\lambda t} \quad (4)$$

La demi-vie ou période d'un radionucléide

La demi-vie, notée $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif est la durée au bout de laquelle son activité est divisée par deux.

Dans l'expression (4) isolons t :

$$\frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

Supprimons le signe "-" de l'exposant du second membre :

$$\frac{N_0}{N(t)} = e^{\lambda t}$$

Recherchons le logarithme népérien de chaque membre :

$$\ln \frac{N_0}{N(t)} = \lambda t$$

D'où

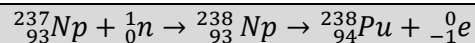
$$t = \ln \frac{N_0}{N(t)} * \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

Pour $\frac{N_0}{N(t)} = 2$, nous avons :

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (6)$$

Le plutonium 238.

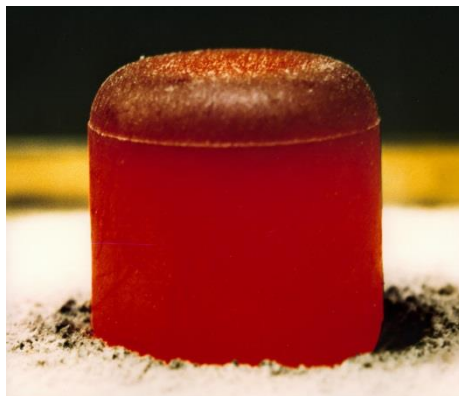
L'un des radionucléides les plus utilisés pour la fabrication de RTG est le plutonium 238. On l'obtient à partir du neptunium 237 produit dans le cœur d'un réacteur nucléaire. Bombardé par des neutrons, ce neptunium se transforme en plutonium 238 par capture neutronique selon la réaction :



Le plutonium 238 est radioactif. Il se désintègre spontanément en émettant une particule α . Ses propriétés sont les suivantes :

- masse volumique $19,816 \text{ g.cm}^{-3}$
- période radioactive $86,41 \text{ années}$
- énergie libérée $5,5 \text{ MeV (particule } \alpha)$
- activité spécifique $6,4 \cdot 10^{-11} \text{ Bq gr}^{-1}$
- puissance spécifique $0,57 \text{ W gr}^{-1}$

En pratique le plutonium 238 est utilisé sous forme de dioxyde de plutonium ${}^{238}\text{Pu O}_2$



Rougeoiement d'une pastille de ${}^{238}\text{Pu O}_2$ sous l'effet de sa propre désintégration radioactive.

Application : l'orbiteur Cassini.

Conçu de 1990 à 1997 l'orbiteur Cassini associé à l'atterrisseur Huygens est lancé en 1997 et placé en orbite autour de Saturne, but de sa mission, en 2004.

L'orbiteur Cassini d'une masse de 5,6 tonnes et doté de 12 instruments scientifiques est équipé de trois RTG embarquant chacun 32,8 kg de ${}^{238}\text{Pu O}_2$.

En supposant que le rendement du convertisseur thermoélectrique à effet Peltier s'élève à 2%, calculons la puissance électrique fournie en début et en fin de mission.

Solution :

Commençons par calculer le nombre initial d'atomes constituant les 32,8 kg de ${}^{238}\text{Pu O}_2$:

$$N_0 = \frac{32800}{238 + 2 * 16} * 6,02 * 10^{23} = 7,31 * 10^{25} \text{ atomes}$$

La constante radioactive λ vaut :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{86,41 * 365 * 24 * 3600} = 2,54 * 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

L'activité A_0 initiale s'élève à : $A_0 = 2,54 * 10^{-10} * 7,31 * 10^{25} = 1,85 * 10^{16} \text{ Bq}$

La puissance thermique P_{th} dégagée au début de la mission s'écrit :

$$P_{th} = 1,85 * 10^{16} * 5,5 * 10^6 * 1,6 * 10^{-19} = 16,28 \text{ KW}$$

La puissance électrique correspondante vaut :

$$P_{eo} = 0,02 * 16280 = 325 \text{ W}$$

A un instant t , la puissance électrique s'écrit :

$$P_e = P_{eo} * e^{-\lambda t}$$

A son arrivée à proximité de Saturne, sept ans après son lancement, la puissance résiduelle sera de :

$$\frac{325}{e^{7/86,41}} = 300 \text{ W}$$

Soit une diminution de 7,7% seulement en sept ans.

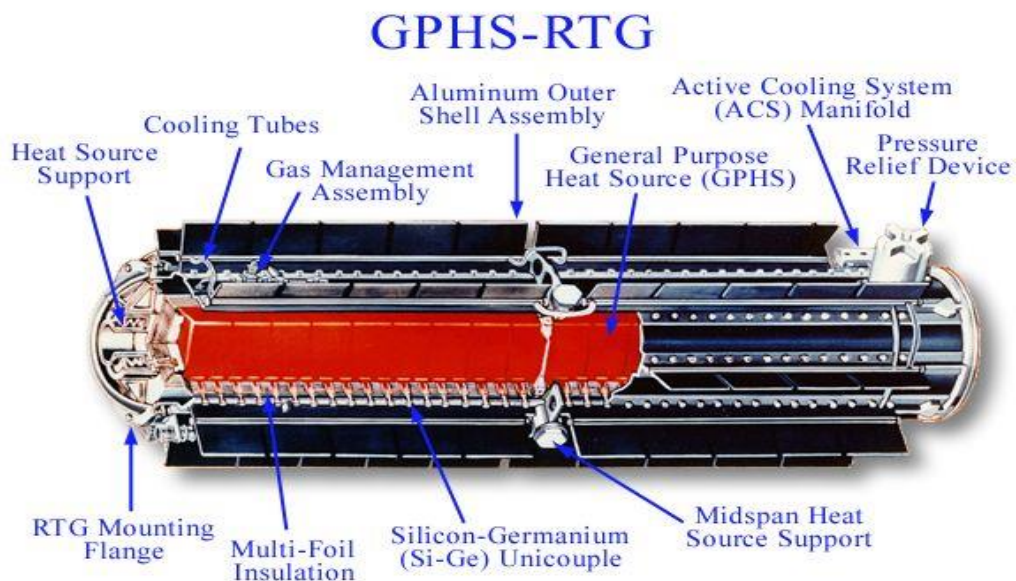


Schéma du RTG de Cassini.