

Chapitre 8 – Radioactivité

TP - Mesure de l'activité du granite

Vous répondrez aux différentes questions des exercices suivants pendant toute la durée du TP.

La correction est fournie en fin de document.

1. Estimation de l'activité d'un bloc de granite

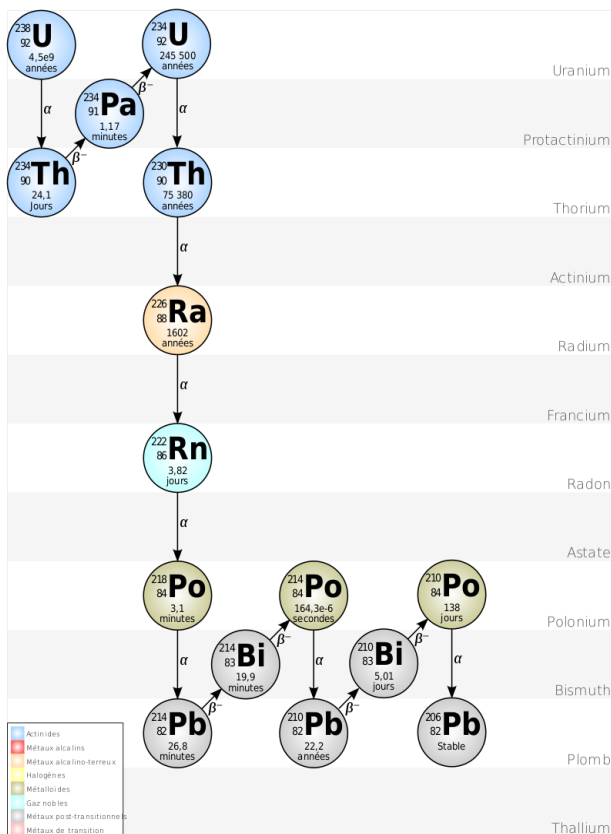
Données numériques :

- Masse du bloc: $m = 1523 \text{ g}$
- Composition moyenne du granite en Uranium 238: 10 ppm
- 1 ppm d'un élément signifie que pour 1 million de gramme de roche, il y a 1g d'élément.
- 1g d'Uranium 238 a une activité de 12311 Bq (source : IRSN).

a. Estimez l'activité du bloc de granite mis sous la cloche au laboratoire de sciences physiques.

b. Sachant que les particules alpha sont absorbées très facilement par la matière (5cm d'air suffisent), est-on réellement soumis à la totalité du rayonnement émis par les désintégrations dans le bloc?

2. Descendants de l'Uranium 238



Voici la chaîne de désintégration radioactive de l'Uranium 238 (source: wikipédia).

Sur ce schéma, on a indiqué le type de désintégration radioactive, la « demie vie », c'est à dire la durée au bout de laquelle, la moitié des éléments se sont désintégrés, et la famille chimique de l'élément.

a. Écrire pour chaque désintégration son équation en respectant les règles de conservation de Soddy.

b. Placez ces éléments sur un diagramme de Segré « nombre de neutron N en fonction du nombre de proton Z ».

On rappelle que le nombre de masse $A = N + Z$.

Dans notre fiole, nous avons l'élément gazeux Radon 222, qui donne des fils (Po 218 et Pb 214) émettant aussi des particules alpha durant la mesure.

3 . Estimation de l'énergie dégagée par le bloc en un an

Données numériques :

- Masse du bloc: $m=1523\text{ g}$
- Masse volumique du granite $\rho=2,7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- Énergie libérée en un an par un mètre cube de granite 20 cal
- Conversion d'unité d'énergie $1\text{ cal}=4,184\text{ J}$
- Capacité calorifique de l'eau liquide $c=4,184\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$

- Estimez en joules l'énergie libérée par ce bloc en un an.
- De combien de degré pourrait on augmenter la température d'un gramme d'eau ?

4 . Rendement de détection de la « fiole de Lucas »

Le détecteur utilisé est une fiole contenant une feuille de papier recouverte de sulfure de zinc (ZnS) dopé avec des atomes d'argent (Ag).

Quand une particule alpha atteint la feuille, elle est absorbée et on observera un flash lumineux, qui sera détecté par un tube photomultiplicateur placé sous la fiole remplie de radon.

Une particule alpha transporte une certaine énergie qu'elle va perdre en ionisant le milieu autour d'elle. Pour l'air, la création d'une paire cation-électron consomme 35eV. Pour le radon 222, les particules alpha ont un parcours maximum de 5cm dans l'air avant d'être absorbées en capturant deux électrons pour devenir un atome d'hélium.

Donc dans la fiole, selon la direction dans laquelle part la particule alpha, la probabilité de frapper la paroi n'est pas la même, certaines désintégrations ne seront pas détectées.

Pour estimer le pourcentage de désintégrations détectées, on utilise une simulation numérique dite « de Monté Carlo ».

Par comptage des détections pour un grand nombre de simulations (en 2D pour simplifier l'exercice), puis mise en commun de vos résultats, calculez le rendement de détection de notre fiole (modélisée en 2D par simplification).

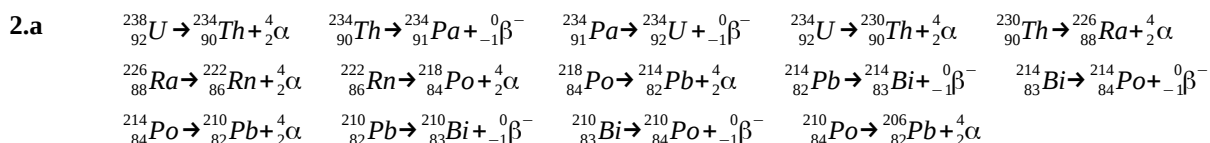
5 . Correction

- Calcul de la masse d'uranium m_U contenue dans notre bloc

$$m_U = m \times 10 \text{ ppm} = m \times \frac{10}{1000000} = 1,523 \cdot 10^{-2} \text{ g} \quad . \quad \text{Activité de cette masse d'uranium (on réalise un « produit$$

$$\text{en croix »)} \quad A = m_U \times \frac{12331 \text{ Bq}}{1 \text{ g}} = 187 \text{ Bq}$$

- Seule la surface du bloc pourra émettre des rayons alpha dans l'air, à l'intérieur du bloc ces rayons alpha sont stoppés par la matière présente.



2.b

Nombre de neutrons N

146											$^{238}_{92}\text{U}$
145											
144									$^{234}_{90}\text{Th}$		
143										$^{234}_{91}\text{Pa}$	
142											$^{234}_{92}\text{U}$
141											
140									$^{230}_{90}\text{Th}$		
139											
138							$^{226}_{88}\text{Ra}$				
137											
136					$^{222}_{86}\text{Rn}$						
135											
134			$^{218}_{84}\text{Po}$								
133											
132	$^{214}_{82}\text{Pb}$										
131		$^{214}_{83}\text{Bi}$									
130			$^{214}_{84}\text{Po}$								
129											
128	$^{210}_{82}\text{Pb}$										
127		$^{210}_{83}\text{Bi}$									
126			$^{210}_{84}\text{Po}$								
125											
124	$^{206}_{82}\text{Pb}$										
	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92

Nombre de protons Z

3.a Volume du bloc $v = \frac{m}{\rho} = \frac{1523}{2,7} = 564 \text{ cm}^3$, et donc en mètre cube $v = 5,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$.

L'énergie libérée en 1 an, en calories est $E = \frac{v \times 20 \text{ cal}}{1 \text{ m}^3} = 0,0113 \text{ cal}$ et converti en joules $E = 0,0472 \text{ J}$.

3.b Pour augmenter de 1°C une masse de 1g d'eau il faut 4,184 Joules. Donc ici l'élévation de température sera

$$\theta = \frac{m \times 4,184 \text{ J}}{1 \text{ g}} = 0,01^\circ \text{C} \text{ .}$$

4. Voir professeur

6 . Une applications technologique de la *radioactivité naturelle*

Pour explorer le Système Solaire, l'Homme a envoyé des sondes spatiales depuis les années 1960 et déposé des instruments scientifiques sur différentes planètes et satellites.

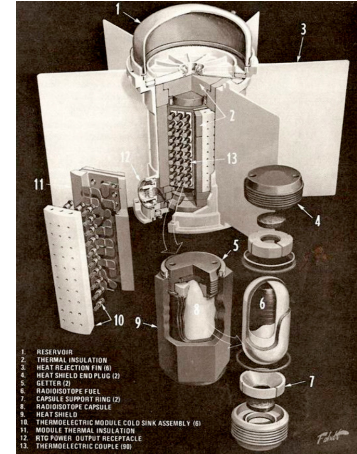
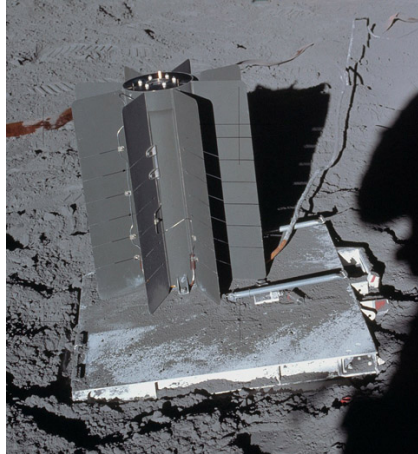
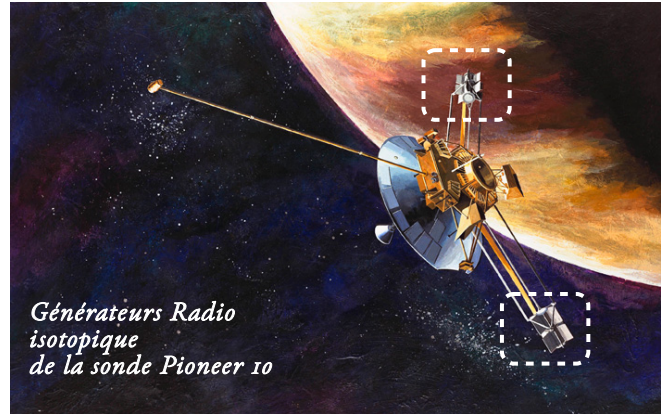
L'Espace est un milieu très hostile, il peut y faire très froid dès que le Soleil n'apporte plus suffisamment d'énergie.

De même, quand la sonde est loin du Soleil, les panneaux solaires ne sont plus assez grands pour fournir l'électricité nécessaire aux instruments scientifiques et de télécommunication avec la Terre.

Pour réchauffer la sonde ou lui apporter de l'énergie, on utilise un RTG (Radioisotope Thermoelectric Generators) qui utilise comme source de chaleur du Plutonium 238. L'électricité sera produite par « effet Seebeck », avec un très mauvais rendement, mais un design très simple pour un satellite (aucune pièce mobile).

Référence :

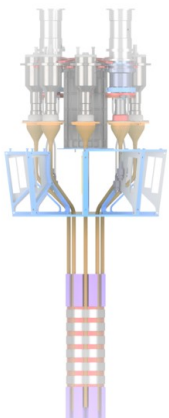
<https://solarsystem.nasa.gov/rps/rtg.cfm>



7 . Une applications spatiale de la *radioactivité artificielle*

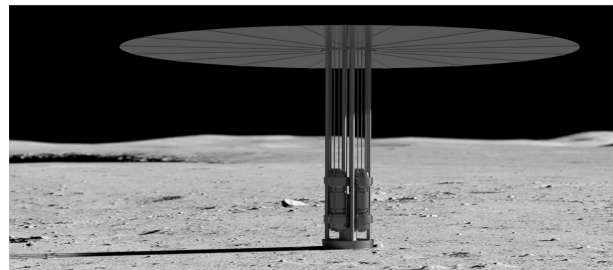
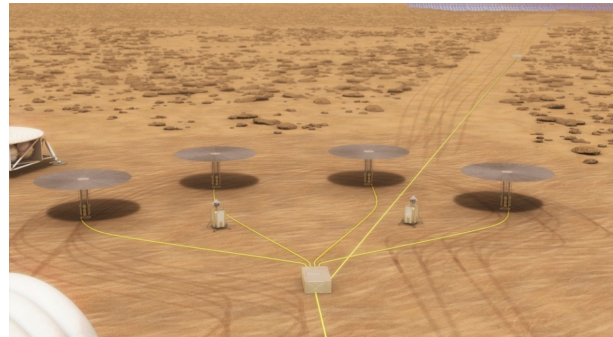
Le projet Kilopower de la NASA utilise la *fission* comme générateur de courant électrique sur Mars en transformant la chaleur en mouvement puis en électricité grâce à des moteurs Stirling

<https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/kilopower>



David Poston
Los Alamos National Laboratory

KRUSTY Test Results



https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/kilopower_media_event_charts_16x9_final.pdf