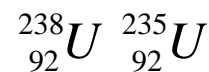




# Société Nucléaire Canadienne

## Feuillelet éducatif sur la désintégration de l'uranium (du Po-210 en moi ?)



[www.cns-snc.ca](http://www.cns-snc.ca)

L'uranium est un métal lourd, blanc-argenté, un peu moins dur que l'acier. Ses 14 isotopes sont tous radioactifs, mais seulement 3 d'entre eux sont présents dans la nature:  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ , et  ${}^{234}\text{U}$ , en abondance par poids de 99,283%, 0,711%, et 0,0054% respectivement. La masse atomique de l'uranium est la plus élevée de tout élément naturellement présent sur terre, et son abondance est relativement grande – environ 2,8 parties par million en moyenne dans la croûte terrestre, semblable à l'abondance du molybdène ou de l'arsenic.

### Source

L'uranium est présent dans le sol et dans les roches, à basse concentration, presque partout sur la terre. On le trouve aussi dissous dans les océans. Les processus naturels l'ont concentré en minerai, et il est pratique de creuser des mines d'uranium. Le Bassin de l'Athabasca, au Saskatchewan, contient à certains endroits du minerai à concentration d'uranium exceptionnellement élevée (15-20% d' $\text{U}_3\text{O}_8$  en moyenne, ~100 fois la moyenne sur tout le globe). Les mines canadiennes fournissent 1/3 de la demande globale courante.

### Les dangers

L'uranium est un métal lourd très toxique (mais moins toxique que le plomb). Les substances chimiques contenant de l'uranium et qui sont solubles dans l'eau passent rapidement à travers le corps humain. Si elles sont avalées, des fractions relativement élevées sont absorbées. Elles peuvent aussi être absorbées à travers la peau. Une charge corporelle de substances solubles contenant de l'uranium cause des dégâts irréversibles aux reins. Les substances insolubles contenant de l'uranium présentent un danger aux poumons si les particules sont inhalées; la fibrose ou le cancer peuvent en résulter.

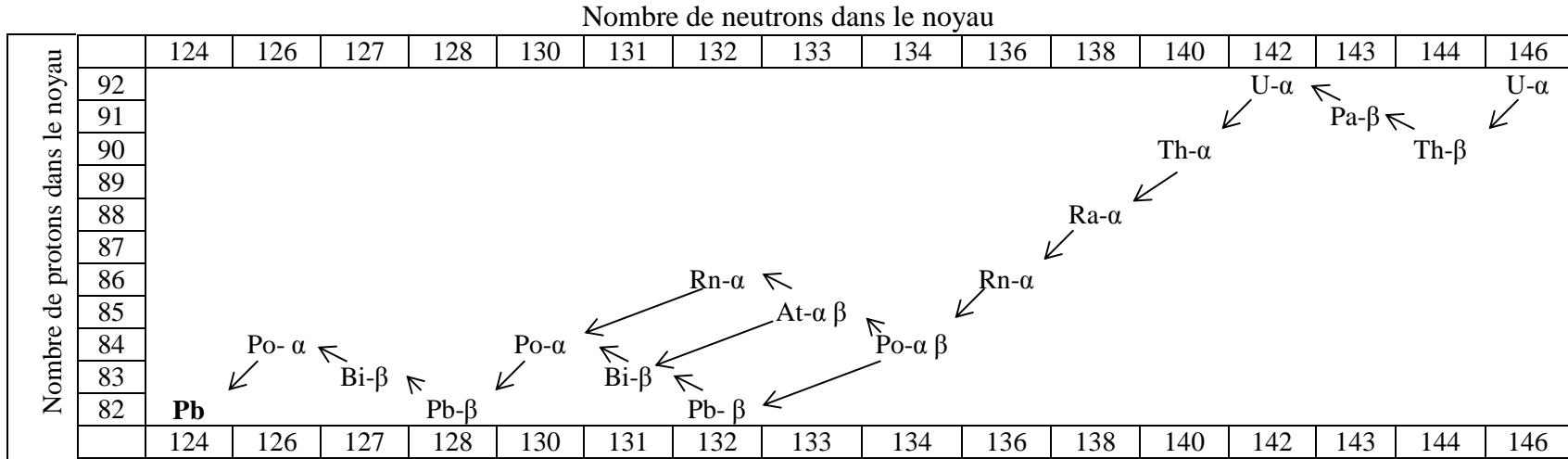
La chaîne de désintégration radioactive est différente pour chaque isotope de l'uranium.  ${}^{238}\text{U}$  a une demi-vie de  $4,47 \times 10^9$  années (environ l'âge de la terre – il y avait deux fois autant d' ${}^{238}\text{U}$  quand la terre était jeune). La première étape est une désintégration par émission de particule alpha ( $\alpha$ ) vers le thorium,  ${}^{234}\text{Th}$ . Une particule  $\alpha$  a 2 neutrons et 2 protons : c'est le noyau d'un atome d'hélium. Très rarement, un atome d' ${}^{238}\text{U}$  se désintègre par fission spontanée. Le tableau ci-dessous montre un sous-groupe des étapes dans la chaîne de désintégration, les demi-vies et les énergies nominales des particules émises, ainsi que la différence totale en énergie entre les états fondamentaux des deux isotopes (« valeur Q »).

De	Par	Vers	Demi-vie	Énergie moyenne $\alpha$ ou $\beta^-$ [MeV]	Valeur Q [MeV]
U-238	$\alpha$	Th-234	4,47 E9 années	4,2	4,27
Th-234	$\beta^-$	Pa-234 <sup>m</sup>	24,1 jours	0,045	0,27
Pa-234 <sup>m</sup>	$\beta^-$	U-234	6,7 h	0,813	2,2
U-234	$\alpha$	Th-230	2,45 E5 années	4,7	4,86
Th-230	$\alpha$	Ra-226	7,5 E4 années	4,7	4,77
Ra-226	$\alpha$	Rn-222	1,6 E3 années	4,8	4,87
Rn-222	$\alpha$	Po-218	3,82 jours	5,5	5,59
Po-218	$\alpha$	Pb-214	3,1 min	6,0	6,1
Pb-214	$\beta^-$	Bi-214	26,8 min	0,218	1,02
Bi-214	$\beta^-$	Po-214	19,9 min	0,642	3,27
Po-214	$\alpha$	Pb-210	164 $\mu\text{s}$	7,7	7,83
Pb-210	$\beta^-$	Bi-210	22,2 années	0,006	0,0635
Bi-210	$\beta^-$	Po-210	5,012 jours	0,389	1,16
Po-210	$\alpha$	<b>Pb-206</b>	138,4 jours	5,3	5,4
			Total	45,01	51,67

<sup>m</sup> = métastable

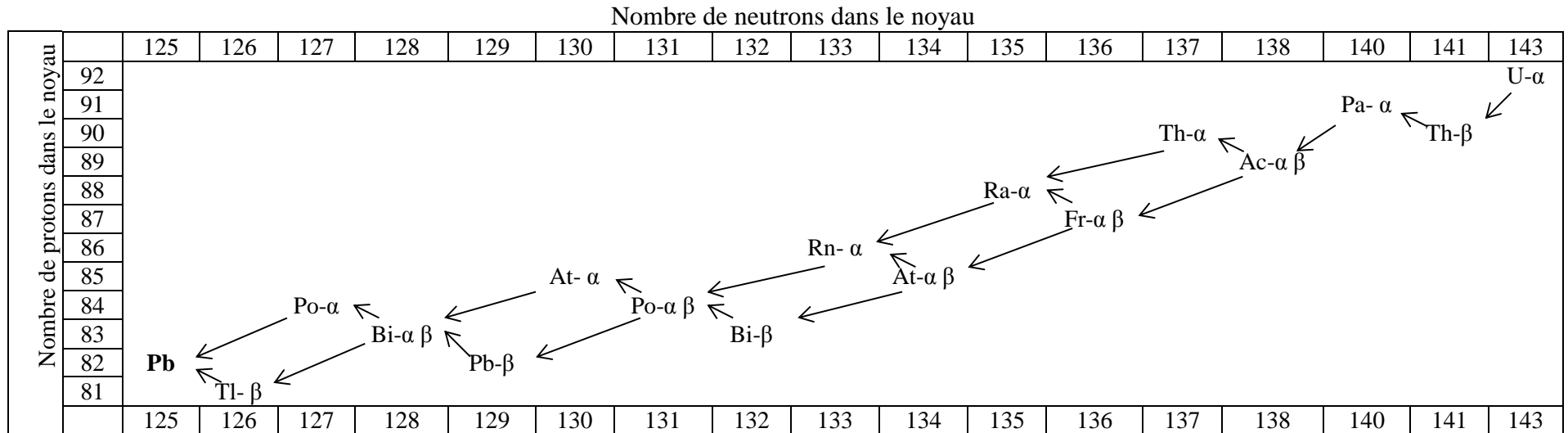
Le  ${}^{206}\text{Pb}$  est un isotope stable du plomb. Il ne se désintègre pas.

Chaîne complète de désintégration de l' $^{238}\text{U}$ , extraite du Tableau des nucléides (« Interactive Chart of the Nuclides »)



(N.B.: On a sauté certains nombres de neutrons, par égard à la brièveté.)

Chaîne complète de désintégration de l' $^{235}\text{U}$ , extraite Tableau des nucléides (« Interactive Chart of the Nuclides »)



(N.B.: On a sauté certains nombres de neutrons, par égard à la brièveté.)

De	Par	Vers	Demi-vie	Énergie moyenne $\alpha$ ou $\beta^-$ [MeV]	Valeur Q [MeV]
U-235	$\alpha$	Th-231	7,04 E8 années	4,4	4,7
Th-231	$\beta^-$	Pa-231	25,5 h	0,080	0,39
Pa-231	$\alpha$	Ac-227	3,3 E4 années	5,0	5,15
Ac-227	$\beta^-$	Th-227	21,8 années	4,95	5,04
Th-227	$\alpha$	Ra-223	18,7 jours	6,0	6,14
Ra-223	$\alpha$	Rn-219	11,43 jours	5,7	5,98
Rn-219	$\alpha$	Po-215	4 s	6,8	6,9
Po-215	$\alpha$	Pb-211	1,8 ms	7,4	7,5
Pb-211	$\beta^-$	Bi-211	36,1 min	0,445	1,37
Bi-211	$\alpha$	Tl-207	2,1 min	6,62	6,75
Tl-207	$\beta^-$	<b>Pb-207</b>	4,77 min	0,495	1,427
Total				47,89	51,35

Le  $^{207}\text{Pb}$  est un isotope stable du plomb.

La radioactivité d'un prélèvement d'uranium dépend de son historique. Un prélèvement de minerai d'uranium qui n'a pas été dérangé, broyé, ou traité chimiquement aura atteint un équilibre où chacun des produits de désintégration sera présent à sa valeur respective d'équilibre. Les désintégrations alpha ne sont détectées que par les isotopes près de la surface du prélèvement, puisque les particules  $\alpha$ , malgré leurs très hautes énergies, ne voyagent qu'une courte distance avant d'être arrêtées par collision avec d'autres atomes dans le prélèvement. Les désintégrations bêta donnent des électrons à haute énergie, et malgré que celles-ci peuvent pénétrer plus loin que les particules alpha, la plupart sont quand même arrêtées à l'intérieur du prélèvement. Mais si on examine les énergies des particules  $\beta^-$  dans le tableau de désintégration de l' $^{238}\text{U}$  et on les compare avec les « valeurs Q » respectives, on note une différence importante. La plupart des désintégrations  $\beta^-$  sont accompagnées d'émission gamma ( $\gamma$ ). Les  $\gamma$  pénètrent beaucoup plus loin dans la matière, et une grande fraction des  $\gamma$  émerge du prélèvement. Ces  $\gamma$  sont détectés beaucoup plus facilement que les  $\alpha$  ou  $\beta^-$ .

L'uranium naturel contient à peu près 0,7% d' $^{235}\text{U}$ , qui a une demi-vie de  $7 \times 10^8$  années – environ un sixième de celle de l' $^{238}\text{U}$  (il y avait plus de 64 fois autant d' $^{235}\text{U}$  quand la terre était jeune). Bien qu'une masse donnée d' $^{235}\text{U}$  est donc plus radioactive que la même masse d' $^{238}\text{U}$ , l' $^{235}\text{U}$  ne contribue qu'une petite fraction de la radioactivité totale d'un prélèvement de minerai d'uranium. Quand le minerai d'uranium est broyé, les isotopes du radon peuvent échapper dans l'atmosphère, ce qui interrompt les chaînes de désintégration. Quand le minerai est traité chimiquement, les concentrations des autres produits de désintégration peuvent diminuer. Quand on écarte les nucléides à courte demi-vie, la radioactivité de l'uranium traité est diminuée par rapport à celle du minerai d'uranium naturel.

### Du $^{210}\text{Po}$ en moi?

Le  $^{210}\text{Po}$ , avant-dernier membre de la chaîne de désintégration de l' $^{238}\text{U}$ , se désintègre en  $^{206}\text{Pb}$ , un isotope stable du plomb. Sa demi-vie étant de 138,4 jours, le  $^{210}\text{Po}$  est une source  $\alpha$  à haute énergie et haute intensité, très appropriée aux usages industriels, tel l'ionisation de l'air afin de maîtriser l'électricité statique. Pour en produire des quantités utiles, un matériel cible, tel le  $^{209}\text{Bi}$ , est irradié dans un réacteur nucléaire pour obtenir du  $^{210}\text{Bi}$ , qui a une demi-vie de 5 jours et qui se désintègre par émission  $\beta^-$  vers le  $^{210}\text{Po}$ . L'empoisonnement d'Alexandre Litvinenko avec du  $^{210}\text{Po}$  a causé sa mort le 23 novembre 2006. La publicité autour de cet apparent homicide a suscité l'intérêt du public pour le polonium (dont tous les isotopes, comme ceux de l'uranium, sont radioactifs).

La chaîne de désintégration de l' $^{238}\text{U}$  inclut toujours le  $^{210}\text{Po}$ . Mais il est très improbable que le tout petit montant d' $^{238}\text{U}$  présent dans le corps humain se désintègre vers le  $^{210}\text{Po}$  durant la vie d'une personne. Par contre, la chaîne de désintégration inclut, parmi les nucléides de métaux lourds, le radon, un gaz noble. Le radon peut s'échapper du minerai ou du sol, là où il est formé, et puis plus tard se désintégrer vers un métal, le

$^{218}\text{Po}$ . Il est donc très probable que tout être humain qui a jamais vécu a respiré ou avalé de la poussière contenant de petites quantités de polonium radioactif, y inclus le  $^{210}\text{Po}$ .

## La Fission

Le noyau d'un atome peut subir la fission spontanément, sans cause externe. La fission peut aussi être induite par l'interaction avec un neutron lent (thermique) [le neutron est « lent », mais il est quand même plus rapide qu'une balle de revolver]. Ou bien la fission peut aussi être induite par un neutron rapide (ayant une vitesse relativiste, ~10% de celle de la lumière). Un neutron thermique peut induire la fission de  $^{235}\text{U}$ , tandis que pour la fission de  $^{238}\text{U}$ , il faut un neutron rapide, ayant une énergie d'au moins 1,2 MeV. La fission consiste en la division du noyau lourd en deux noyaux plus légers et la libération d'un petit nombre de neutrons à haute énergie. La fission peut donner beaucoup de paires différentes d'atomes / nucléides.

Les réacteurs nucléaires qui utilisent l'eau ordinaire (légère) comme modérateur pour ralentir les neutrons et induire la fission de  $^{235}\text{U}$  requièrent une concentration accrue de  $^{235}\text{U}$  - disons de 3% à 5% - afin de compenser l'absorption de neutrons par l'hydrogène dans l'eau. Les usines d'enrichissement accomplissent cette tâche en traitant l' $\text{UF}_6$  - gaz d'hexafluorure d'uranium. L'enrichissement occasionne des queues (résidus) d'uranium appauvri, ayant une concentration en  $^{235}\text{U}$  plus faible que celle de l'uranium naturel. L'uranium appauvri est par conséquent moins radioactif que l'uranium naturel. L'uranium appauvri est utilisé comme absorbeur des rayonnements dans certains blindages. En forme métallique, il est utilisé pour sa haute densité, par exemple dans les quilles des bateaux à voile. L'uranium appauvri trouve aussi usage dans les projectiles perce-blindage, à cause de la densité élevée de l'uranium et la façon dont il brûle dans l'air.

Les réacteurs nucléaires qui utilisent l'eau lourde (oxyde de deutérium) comme modérateur des neutrons peuvent induire la fission de  $^{235}\text{U}$  à concentration naturelle. Une usine d'enrichissement de l'eau produit l'eau lourde en augmentant la concentration de l'isotope lourd d'hydrogène ( $^2\text{H}$ ) de sa valeur naturelle (~0,016%) jusqu'à une valeur supérieure à 99,75%.

Les réacteurs nucléaires qui utilisent les neutrons rapides ne peuvent être refroidis à l'eau, car ceci ralentirait les neutrons. Ces réacteurs « rapides » utilisent des métaux liquides ou des sels fondus comme caloporteurs pour refroidir le combustible. Seuls quelques prototypes de réacteurs rapides de puissance ont été construits.

Les ~52 MeV libérés par la chaîne de désintégration de  $^{238}\text{U}$  sur plus de  $10^9$  années peuvent être comparés aux ~183 MeV libérés dans une fission moyenne de  $^{235}\text{U}$  en beaucoup beaucoup moins d'une seconde (ceci n'inclut pas l'énergie de désintégration des nucléides produits de fission, et celle des neutrinos, dont l'énergie n'est pas récupérée).

## Coût

Le coût de l'uranium en forme concentrée (« yellow cake »), à la sortie de l'usine de concentration, près des mines d'uranium, a varié énormément dans le temps: de 10,75\$(US) la livre d' $\text{U}_3\text{O}_8$  en 2003 à 95\$ en 2007 (pour contrats à long terme). Ces jours-ci, son prix sur le marché au comptant suit celui du pétrole, puisque les industries de l'énergie sont en fin de compte liées par les utilisateurs, qui peuvent changer de source d'énergie d'après leur coût - et aussi à cause de l'influence des négociants en énergie.

## Références

Sur l'internet: The Interactive Chart of the Nuclides, [www.nndc.bnl.gov/chart](http://www.nndc.bnl.gov/chart)  
The Uranium Institute, London, UK  
Uranium Information Centre Limited, Melbourne, Australia  
US Department of Energy, WSRC-TR-2001-00331, Chemical and Radiological Toxicity of Uranium and its Compounds, <http://sti.srs.gov/fulltext/tr2001331/tr2001331.html>  
CAMECO, [www.cameco.com](http://www.cameco.com)

Handbook of Chemistry and Physics, 60<sup>th</sup> Edition, Chemical Rubber Company, 1979.