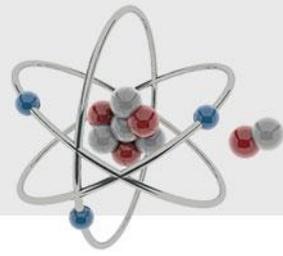


Prospection Radionucléaire

Dr. S.E. BENTRIDI

Plan du Cours



Méthode de Prospection Nucléaire

Chapitre 1: Principes de radioactivité et rayonnements nucléaires.

Chapitre 2: La radioactivité dans les formations géologiques

Chapitre 3: Instrumentation radiométriques

Chapitre 4: Recherche et prospection radionucléaire

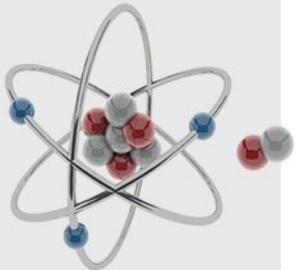
Bibliographie:

- *W.M. Telford, L.P. Geldart, R.E. Sheriff, "Applied Geophysics", 2nd Edition, Cambridge University Press, 2014. Chapter 10: Radioactivity Method.*
- *Michael Dentith, Stephen T. Mudge, "Geophysics for the mineral exploration geoscientist", Cambridge University Press, 2nd Ed. 2014, Chapter 4: Radiometric method*

II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Série : K-U-Th

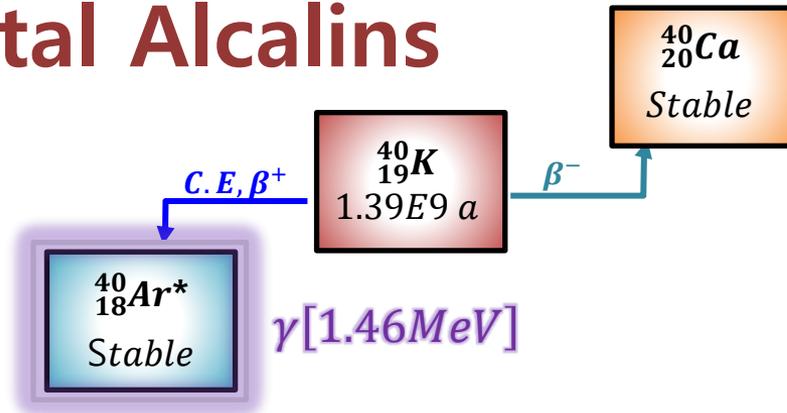
- Dans les formations géologiques, on parle souvent de la série K-U-Th: En effet il s'agit des éléments les plus significatifs par rapport à la mesure radioactive.
- De l'isotope radioactif du Potassium K40
- Il s'agit de l'Uranium avec ses deux isotopes U235 et U238
- De l'isotope naturel et unique du Thorium Th232



Cas du Potassium 40:

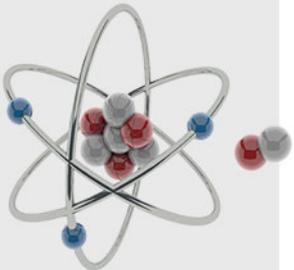
Alcalino-terreux

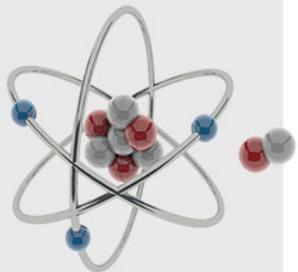
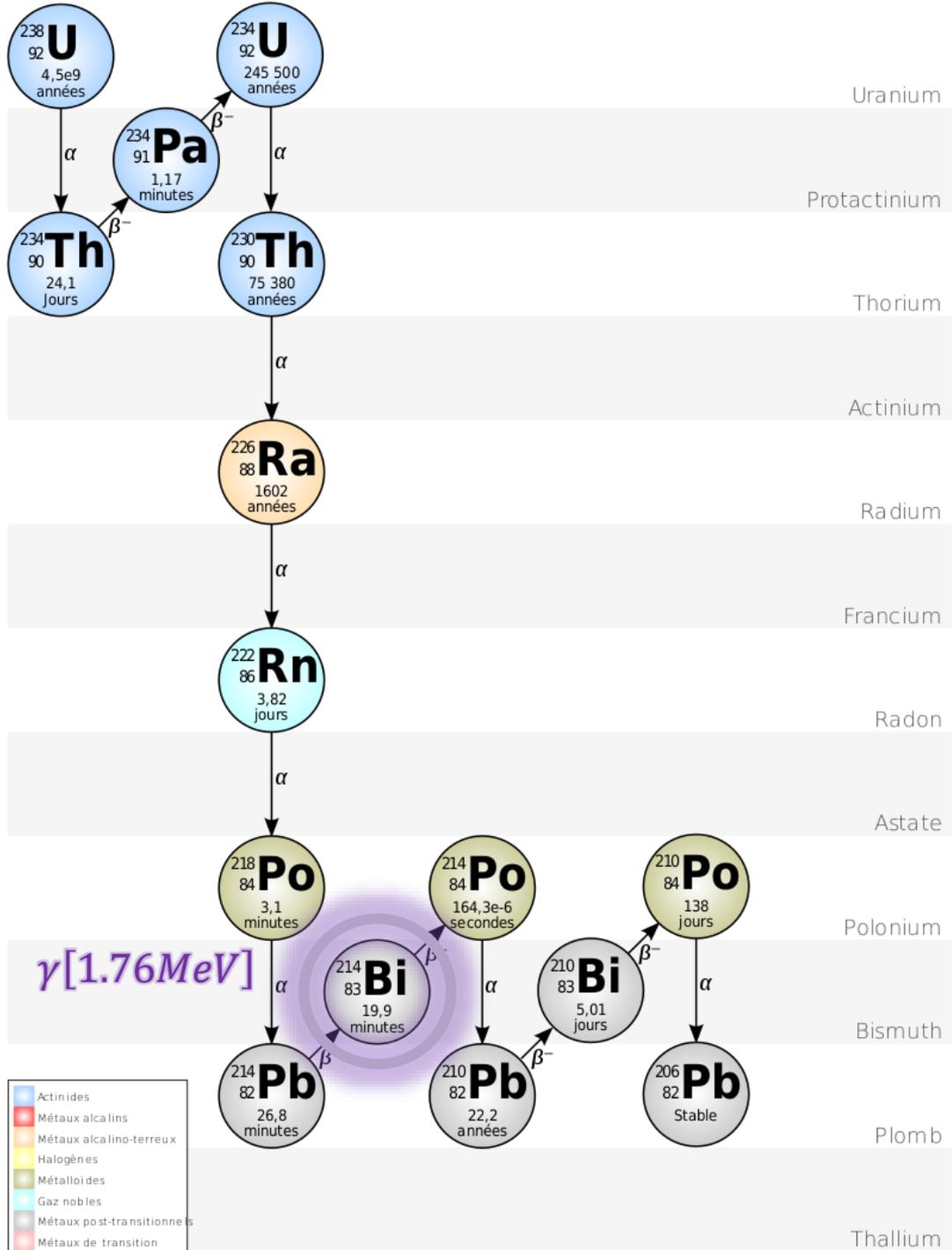
Métal Alcalins



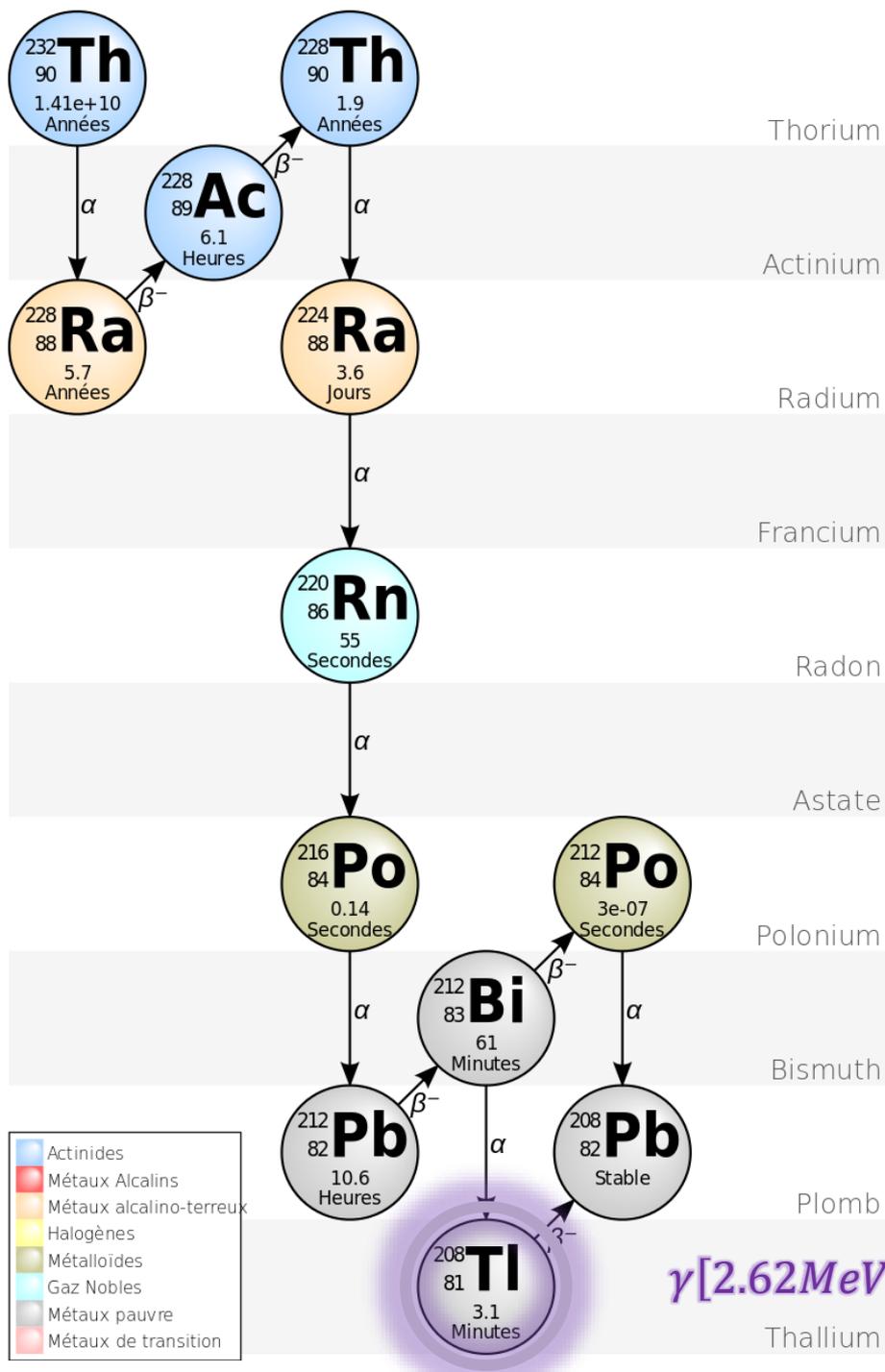
Gaz noble

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta^- [1.32\text{MeV}]: 88.8\% \\ \beta^+ [0.49\text{MeV}]: 0.01\% \\ C.E: 11.16\% \rightarrow \text{Ar}^*: (\gamma[1.46\text{MeV}]: 11\%) \end{array} \right.$$

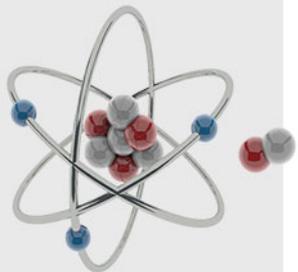




- Actinides
- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Halogènes
- Métalloïdes
- Gaz nobles
- Métaux post-transitionnels
- Métaux de transition



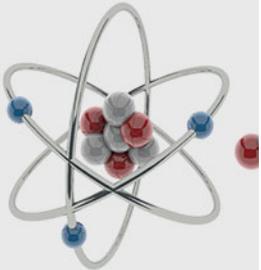
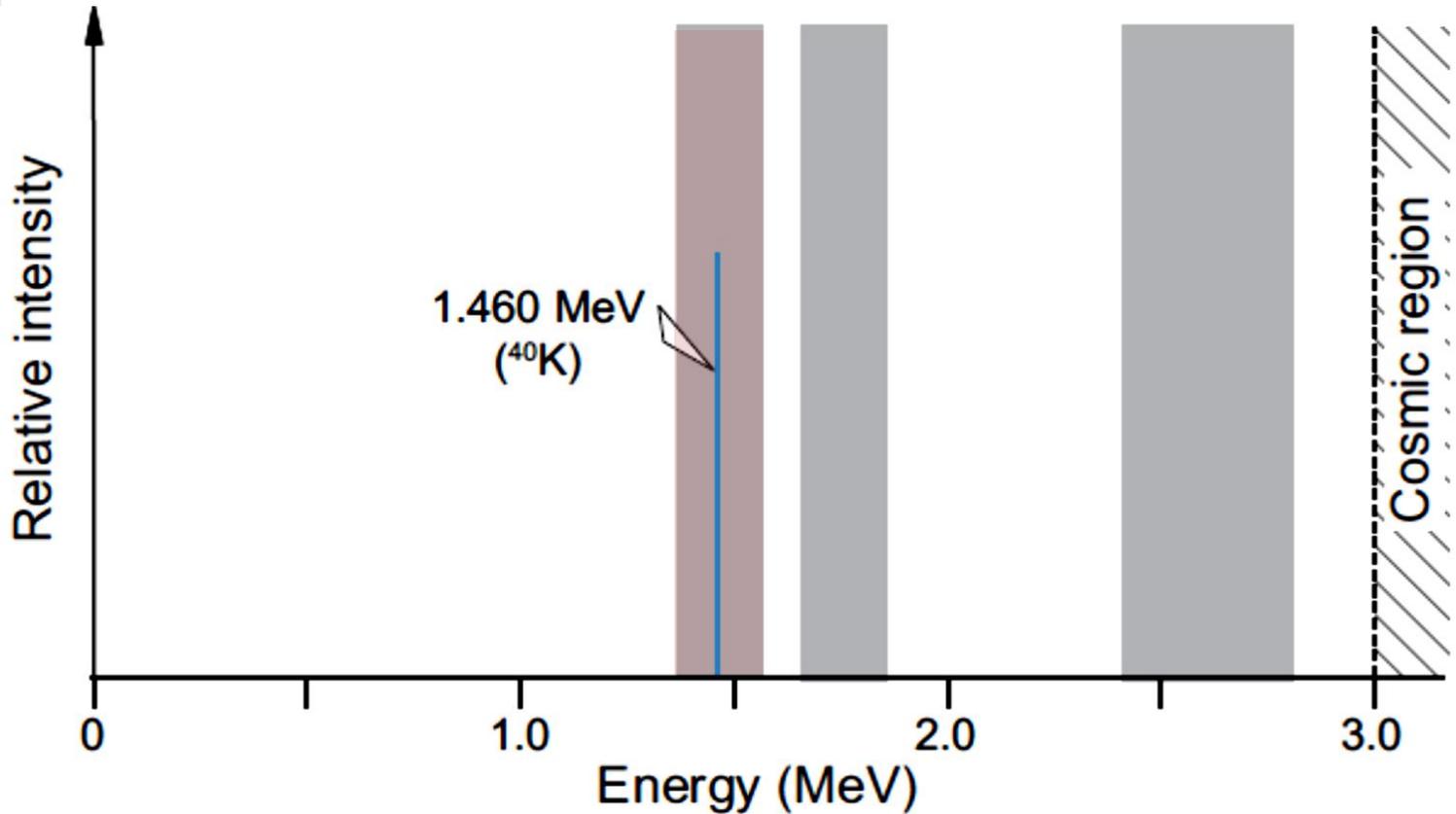
- Actinides
- Métaux Alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Halogènes
- Métalloïdes
- Gaz Nobles
- Métaux pauvres
- Métaux de transition



γ [2.62MeV]

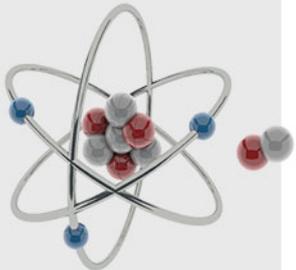
II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Isotope	$T_{1/2}$	$\lambda[s^{-1}]$	Radioactivité	Energie γ [MeV]
${}^{40}_{19}K$	$1.25 \times 10^9 \text{ans}$		$\beta, CE, \gamma[Ar^*]$	1.46
${}^{40}_{20}Ca$	Stable			
${}^{40}_{18}A$	Stable			

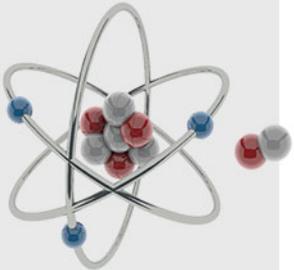
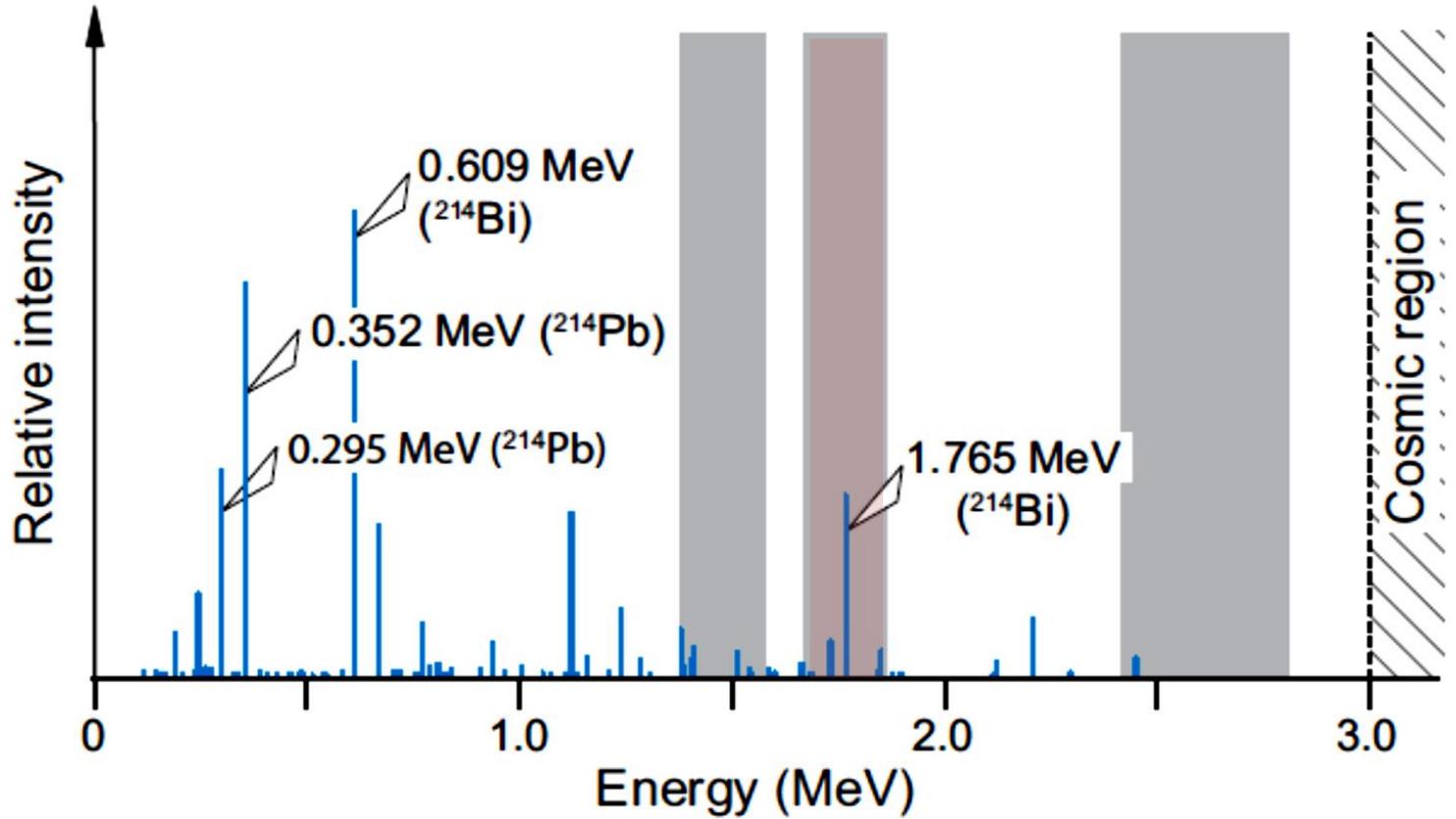


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Isotope	$T_{1/2}$	$\lambda[s^{-1}]$	Radioactivité	Energie γ [MeV]
$^{238}_{92}U$	$4.468 \times 10^9 ans$	4.919×10^{-18}	α, FS, γ	
$^{234}_{90}Th$	24.1 <i>jours</i>	3.3288×10^{-7}	β, γ	
$^{234}_{91}Pa$	1.17 <i>min</i>	9.8739×10^{-3}	β, γ	
$^{234}_{92}U$	2.445×10^5	8.9896×10^{-14}	α, FS, γ	
$^{230}_{90}Th$	$77 \times 10^3 ans$	2.8545×10^{-13}	α, γ	
$^{226}_{88}Ra$	1600 <i>ans</i>	1.3737×10^{-11}	α, γ	
$^{222}_{86}Rn$	3.823 <i>jours</i>	2.0985×10^{-6}	α, γ	
$^{218}_{84}Po$	3.05 <i>min</i>	3.7877×10^{-3}	α, β	
$^{214}_{82}Pb^*$	26.8 <i>min</i>	4.3106×10^{-4}	β, γ	0.29, 0.35
$^{214}_{83}Bi^*$	19.9 <i>min</i>	5.8052×10^{-4}	β, γ	0.61, 1.12, 1.23, 1.38, 1.76 , 2.20
$^{214}_{84}Po$	$163.7 \times 10^{-6} s$	1.1347×10^{-4}	α	
$^{210}_{82}Pb$	22.26 <i>ans</i>	2.3697×10^{-8}	β, γ	
$^{210}_{83}Bi$	5.013 <i>jours</i>	1.6003×10^{-6}	β, γ	
$^{210}_{84}Po$	138.38 <i>jours</i>	5.7974×10^{-8}	α	
$^{206}_{82}Pb$	stable	---		

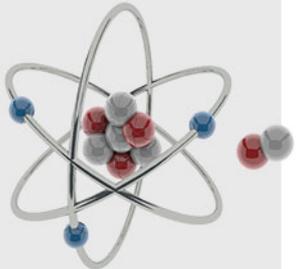


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

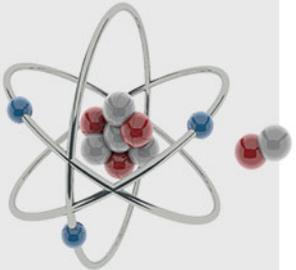
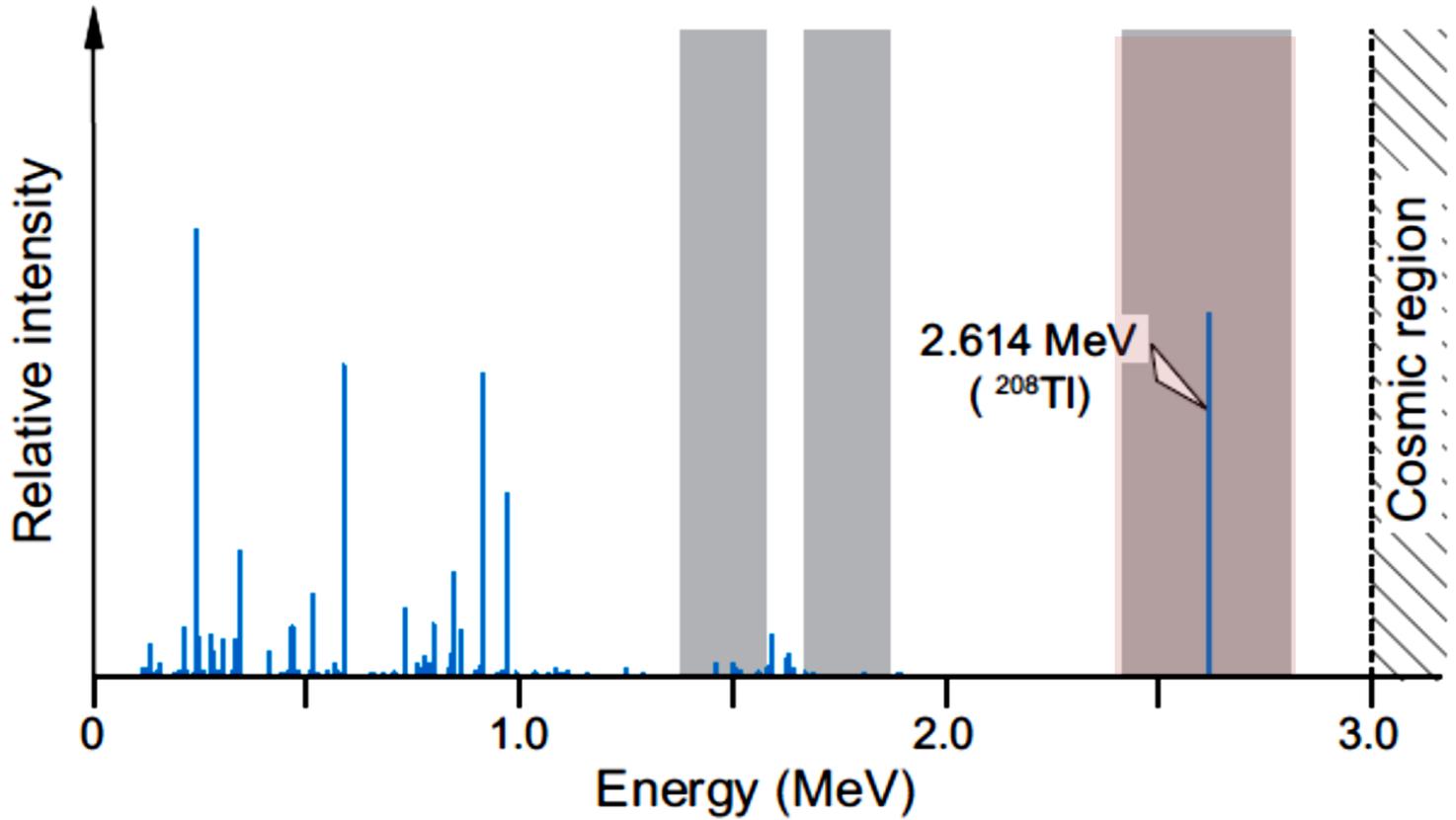


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Isotope	$T_{1/2}$	$\lambda[s^{-1}]$	Radioactivité	Energie γ [MeV]
$^{232}_{90}\text{Th}$	$1.40 \times 10^{10} \text{ ans}$		α, FS, γ	
$^{228}_{88}\text{Ra}$	6.7 ans		β, γ	
$^{228}_{89}\text{Ac}$	6.1 heures		β, γ	0.34, 0.91, 0.97, 1.59, 1.69
$^{228}_{90}\text{Th}$	1.91 ans		α, γ	
$^{224}_{88}\text{Ra}$	3.64 jours		α, γ	
$^{220}_{86}\text{Rn}$	55.3 s		α, γ	
$^{216}_{84}\text{Po}$	0.15 s		α	
$^{212}_{82}\text{Pb}^*$	10.64 h		β, γ	0.24
$^{212}_{83}\text{Bi}^*$	60.6 min		β, α, γ	0.73
$^{212}_{84}\text{Po}$	$3 \times 10^{-7} \text{ s}$		α	
$^{208}_{82}\text{Tl}$	3.1 min		β, γ	0.51, 0.58, 2.62
$^{208}_{82}\text{Pb}$	stable	---		

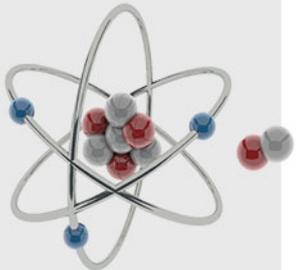
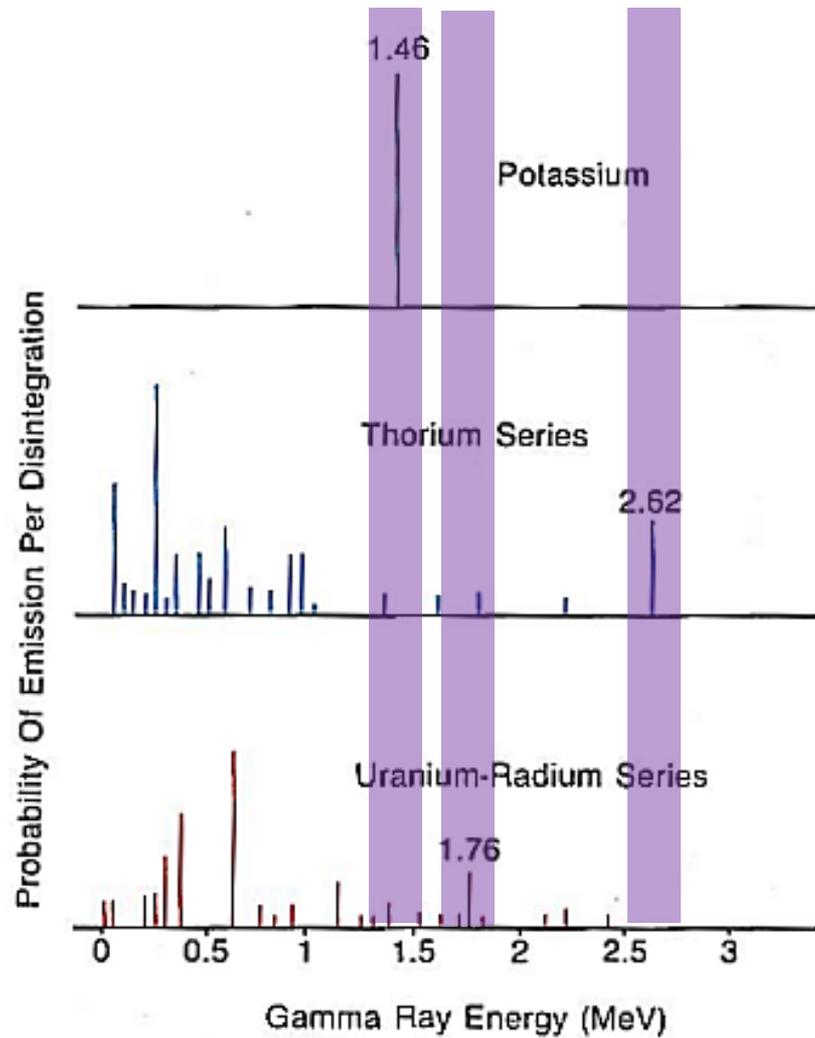


II. La radioactivité dans les formations géologiques.



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Séries : K-U-Th

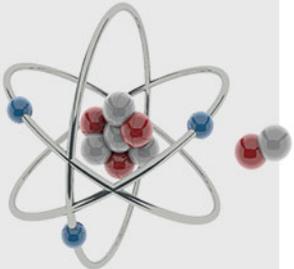


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Mesure de la radioactivité γ

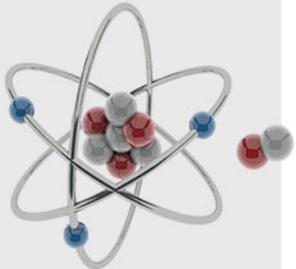
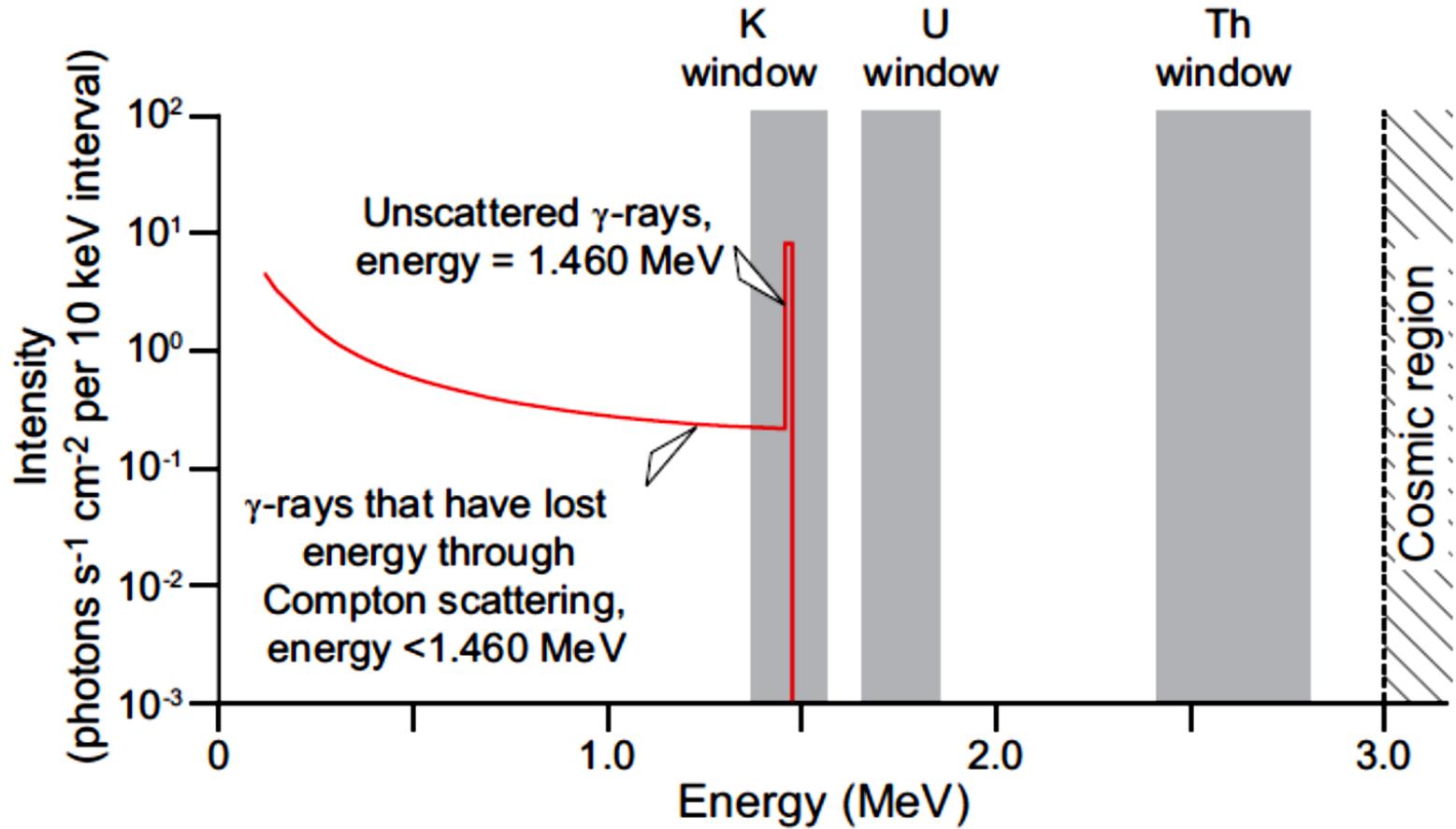
La mesure réelle de l'émission γ en provenance d'un isotope radioactif doit tenir en compte tous les phénomènes d'interaction γ -matière, à savoir:

- Effet Photo-électrique: $h\nu = w_i + T_e$
- Effet Compton: $h\nu = h\nu' + T_e$
- Création de Paire: $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$



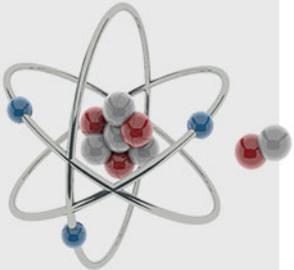
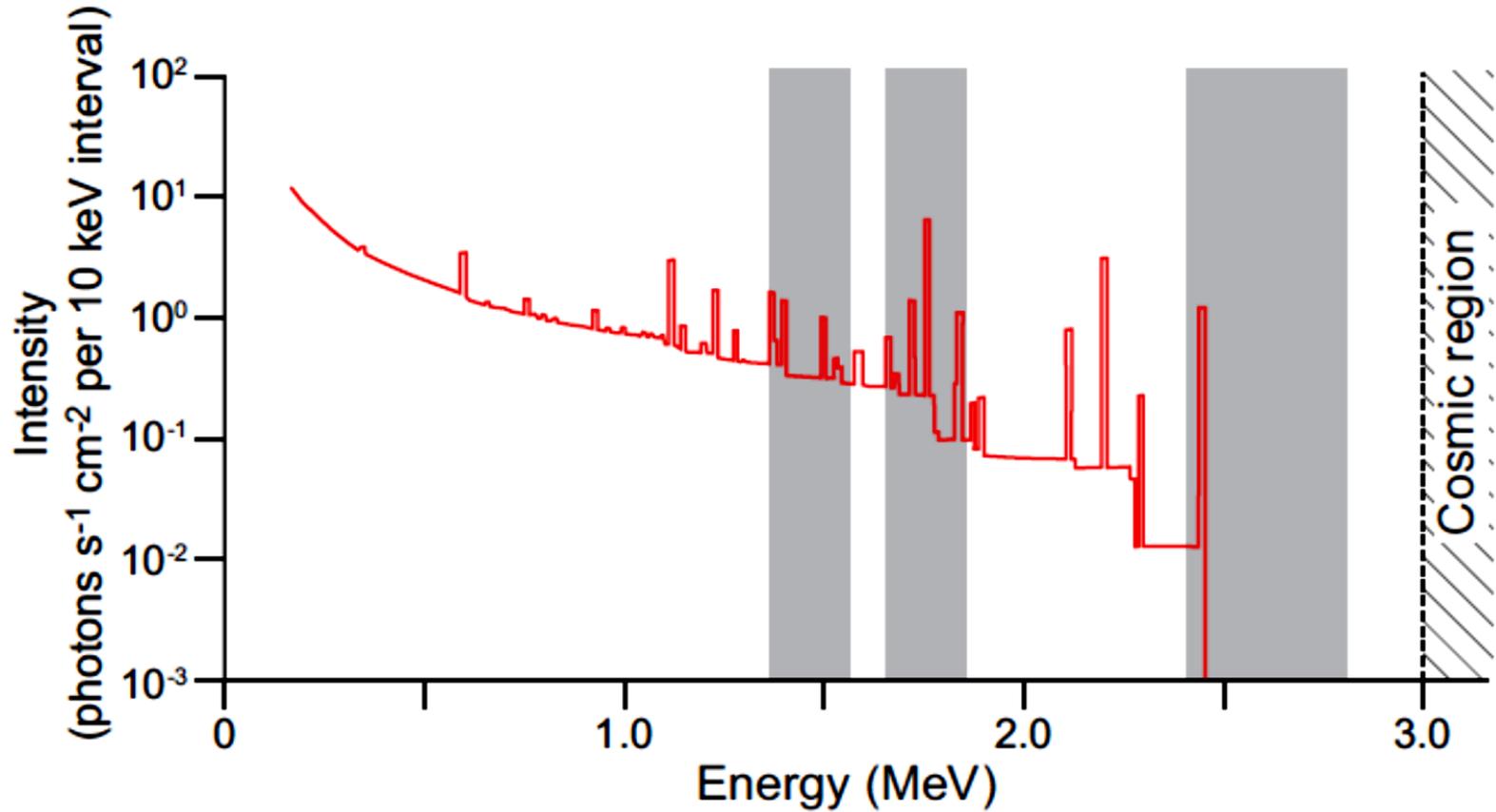
II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Mesure de la radioactivité K40



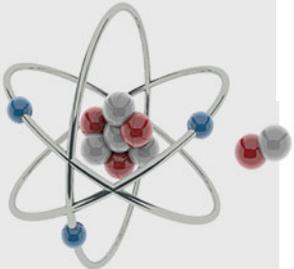
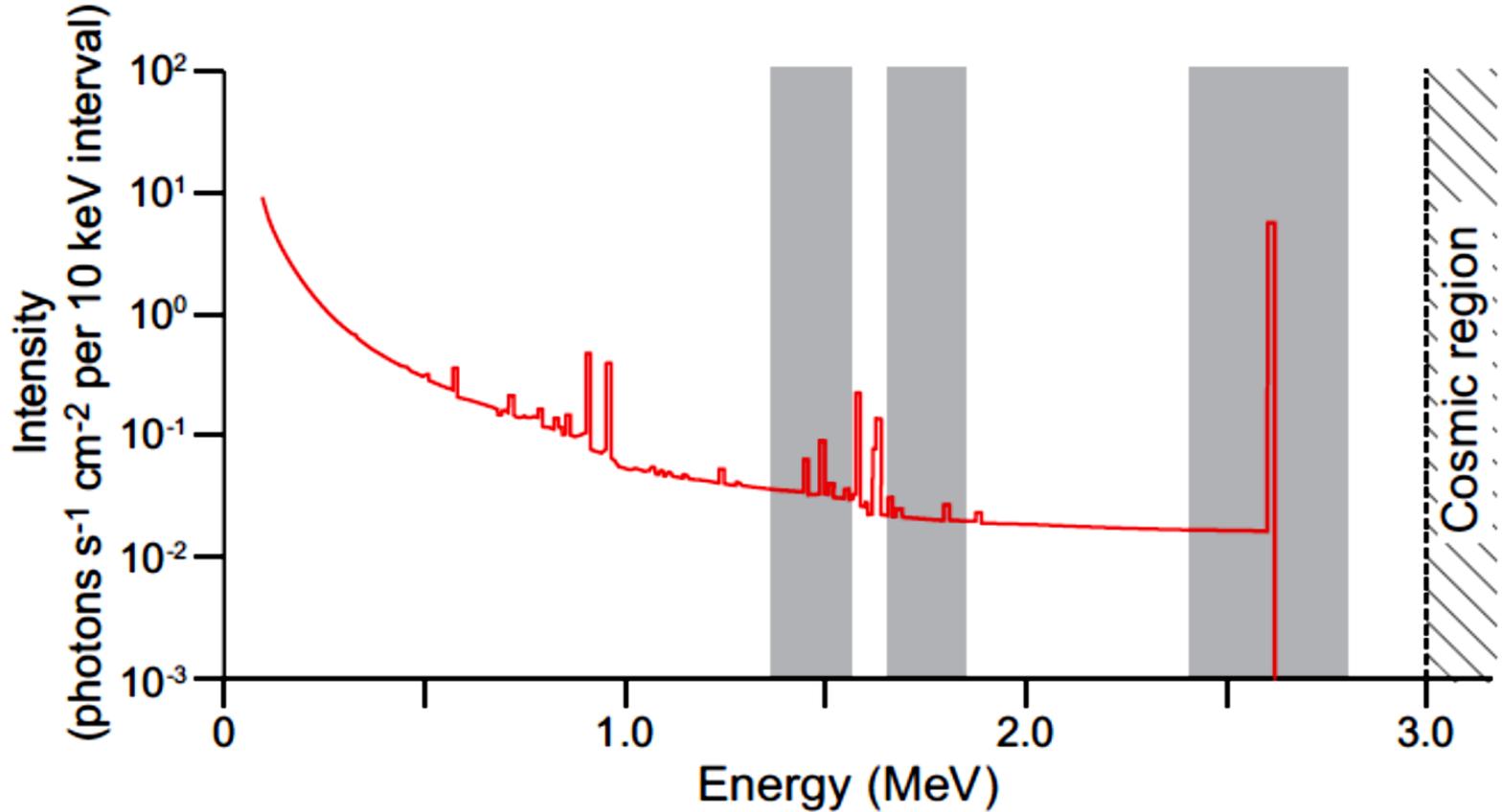
II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Mesure de la radioactivité U238



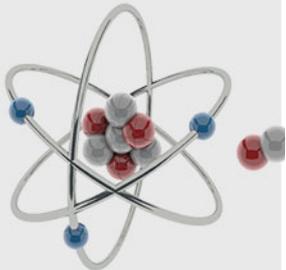
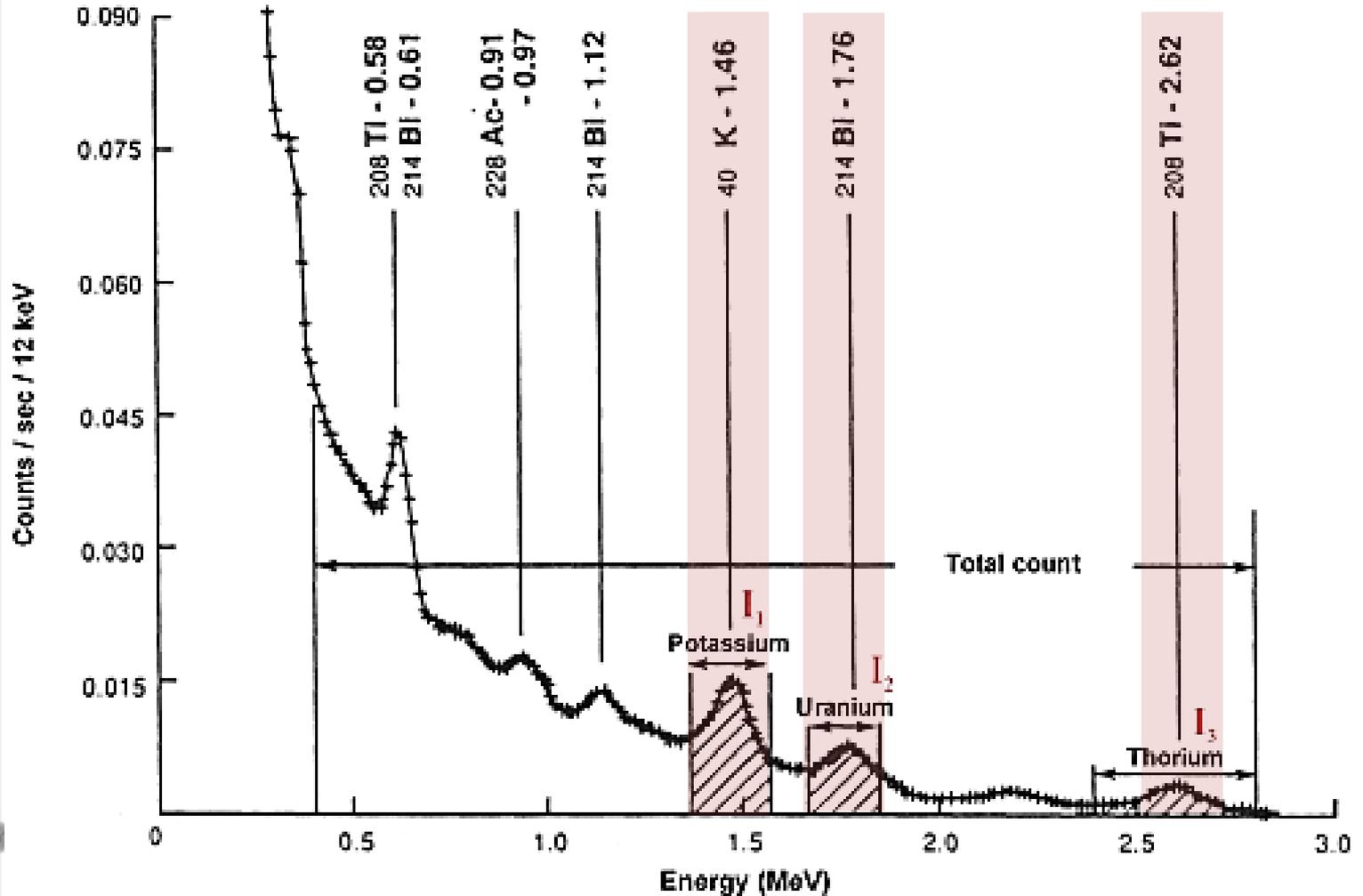
II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Mesure de la radioactivité Th232



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Mesure de la radioactivité totale U-K-Th (total count)



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Activité radioactivité par g d'isotope

1. Compléter le tableau suivant ($N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{noy/mol}$):

Isotope	T1/2[yr]	λ [1/s]	Molar Mass[g]	Nmol*Abund./g	Abund%	Activity*/g
<i>U238</i>	4.47E+09		238.0507826		99.2742	
<i>U235</i>	7.04E+08		235.0439299		0.7202	
<i>Th232</i>	1.40E+10		232.0380553		100.0000	
<i>K40</i>	1.25E+09		39.96399848		0.0117	

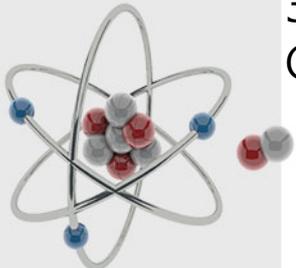
* : Activité donnée en Bq [1 désint./s]

2. Comparer le taux d'activité de l'U235 par rapport à l'U238.

Commenter

3. Comparer le taux d'activité du K et Th par rapport à l'U238.

Commenter



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

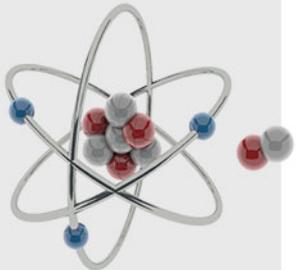
Activité radioactivité par g d'isotope

1. Compléter le tableau suivant:

Isotope	T1/2[yr]	λ [1/s]	Molar Mass[g]	Nmol*Abund./g	Abund%	Activity*/g
<i>U238</i>	4.47E+09	4.91E-18	238.0507826	2.51141E+21	99.2742	1.23405E+03
<i>U235</i>	7.04E+08	3.11996E-17	235.0439299	1.84525E+19	0.7202	5.75710E+02
<i>Th232</i>	1.40E+10	1.5689E-18	232.0380553	2.59532E+21	100.0000	4.07179E+03
<i>K40</i>	1.25E+09	1.7572E-17	39.96399848	1.76306E+18	0.0117	3.09799E+01

$$2. \frac{U235}{U238} = \frac{575.71}{12340.5} = 0.046; \frac{K40}{U238} = \frac{30.98}{12340.5} = 0.0025; \frac{Th232}{U238} = \frac{4071.8}{12340.5} = 0.33$$

3. Mis à part l'activité du Th qui est comparable à celle de l'U238, celle de l'U235 et du K40 sont relativement très faibles à abondance naturelle en gramme de matière.



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

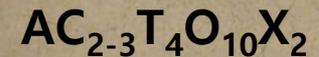
Présence des éléments U-K-Th dans l'environnement géologique



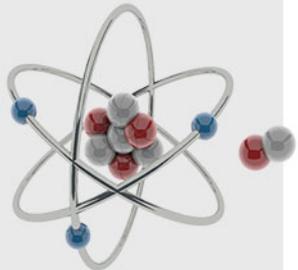
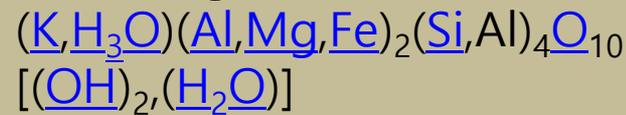
Feldspath (Feld)
(Ba,Ca,Na,K,NH₄)



Mica



Illite (Argile)



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Présence des éléments U-K-Th dans l'environnement géologique

❑ Uranium et Thorium possèdent un rayon ionique large et sont chargés dans

❑ Ils sont rarement dans les minéraux silicatés

❑ Ils ont tendance à se concentrer dans les minéraux

❑ L'Uranium peut former des minéraux de figure il peut être présent

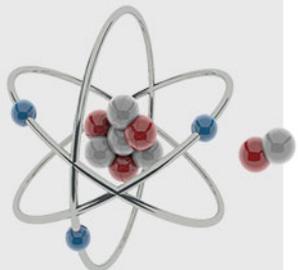
grain;

❑ Les Quartz, Fe

contenir des traces d'U et Th, mais ces traces sont présentes principalement comme des minéraux accessoires comme le Zirconite, Monazite, Sphène, Rutile et Xénotime.



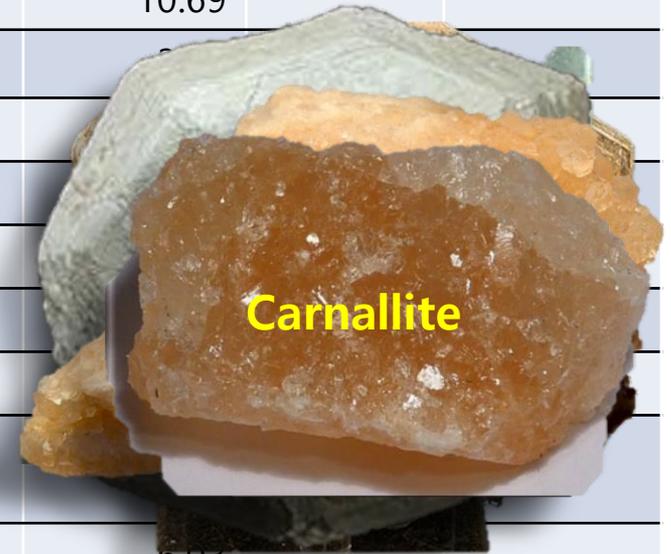
Pechblende (Uraninite: UO_2)



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Présence des éléments U-K-Th dans l'environnement géologique

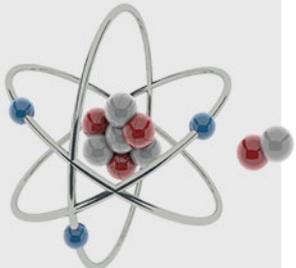
Minerai	Mineral	Formule	Wt% K	Wt% U	Wt% Th
Feldspath	Feldspars				
Orthose	Orthoclase	$KAlSi_3O_8$	14.05		
Microcline	Microcline	$KAlSi_3O_8$	14.05		
Sanidine	Sanidine	$(K, Na)(Si, Al)_4O_8$	10.69		
Anorthose	Anorthoclase	$(Na, K)AlSi_3O_8$			
Micas	Micas				
Biotite	Biotite	$K(Mg, Fe^{2+})_3[AlSi_3]O_{10}(OH, F)_2$			
Muscovite	Muscovite	$KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH, F)_2$			
Phlogopite	Phlogopite	$KMg_3(AlSi_3)O_{10}(OH, F)_2$			
Glauconite	Glauconite	$K(Fe^{3+}, Al)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$			
Minéraux argileux	Clay minerals				
Illite	Illite	$K_yAl_4(Si_{8-y}Al_y)O_{20}(OH)_2$	6.03		
Évaporites	Evaporites				
Sylvite	Sylvite	KCl	52.45		
Carnallite	Carnallite	$KMgCl_3 \cdot 6H_2O_2$	14.07		



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Présence des éléments U-K-Th dans l'environnement géologique

Minerai	Mineral	Formule	Wt% K	Wt% U	Wt% Th
U et Th	U and Th				
Brannérite	Brannerite	$(U, Ca, Ce)(Ti, Fe)_2O_2$		33.54	
Carnotite	Carnotite	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 1 - 3H_2O$	8.67	52.77	
Coffinite	Coffinite	$U(SiO_4)_{1-x} (OH)_{4x}$		72.63	
Monazite	Monazite	$(Ce, La, nd, Th, Y)PO_4$			4.83
Thorite	Thorite	$(Th)SiO_4$			71.59
Uraninite	Uraninite (Pechblende)	UO_2		88.15	
Uranophane	Uranophane	$Ca(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 6H_2O$		40.59	

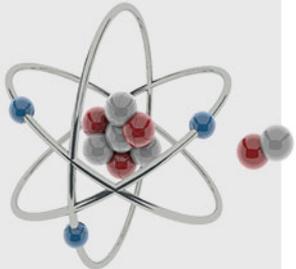


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Présence des éléments U-K-Th dans l'environnement géologique

- ❑ Étant donné les teneurs des éléments U, K et Th en ppm ($10^{-6}g/g$), trouver l'activité par élément et totale dans chaque type de roche
- ❑ Rappporter l'activité du K et Th à celle de l'U. Commenter

Roche	K[ppm]	K[Bq/g]	Th[ppm]	Th[Bq/g]	U(ppm)	U[Bq/g]	Activité totale[Bq/g]
<i>Granite</i>	35000		15		4		
<i>Basalte</i>	9000		2		0.6		
<i>Ultramafique</i>	10		0.2		0.05		
<i>Chondrites</i>	850		0.08		0.02		
<i>Fer météorique</i>	--		0.015		0.04		

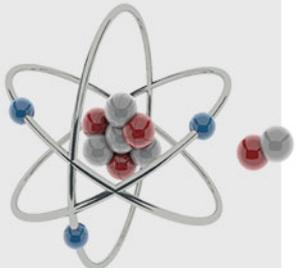


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Présence des éléments U-K-Th dans l'environnement géologique

- ❑ Étant donné les teneurs des éléments U, K et Th en ppm ($10^{-6}g/g$), trouver l'activité par élément et totale dans chaque type de roche
- ❑ Rapporter l'activité du K et Th à celle de l'U. Commenter

Roche	K[ppm]	K[Bq/g]	Th[ppm]	Th[Bq/g]	U(ppm)	U[Bq/g]	Activité Tot. [Bq/g]
<i>Granite</i>	35000	0.127	15	0.0615	4	0.049	0.791
<i>Basalte</i>	9000	0.0033	2	0.0081	0.6	0.0074	0.019
<i>Ultramafique</i>	10	3.62E-6	0.2	0.0008	0.05	0.0006	0.0014
<i>Chondrites</i>	850	0.0003	0.08	2.96E-5	0.02	0.00024	5.69E-4
<i>Fer météorique</i>	--	00	0.015	6.1E-5	0.04	0.0005	5.61E-4



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Présence des éléments U-K-Th dans l'environnement géologique

- ❑ Rapporter l'activité du K et Th à celle de l'U. Commenter

Roche	K[Bq/g]	Th[Bq/g]	U[Bq/g]	K/U	Th/U
<i>Granite</i>	0.127	0.0615	0.049	2.59	1.246
<i>Basalte</i>	0.0033	0.0081	0.0074	0.450	1.100
<i>Ultramafique</i>	3.62E-6	0.0008	0.0006	0.006	1.333
<i>Chondrites</i>	0.0003	2.96E-5	0.00024	1.258	1.333
<i>Fer météorique</i>	00	6.1E-5	0.0005	0.000	0.125

- ❑ Les rapports d'activités montrent que les activités des trois éléments dans l'environnement géologiques sont corrélées à leurs teneurs respectives et peuvent se montrer du même ordre dans certains cas.

