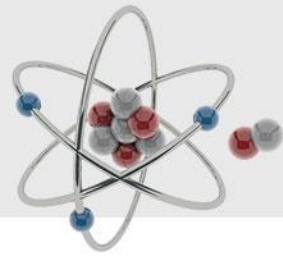




Prospection Radionucléaire

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

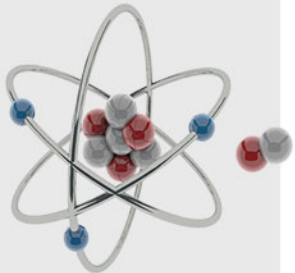
Bibliographie:

- *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

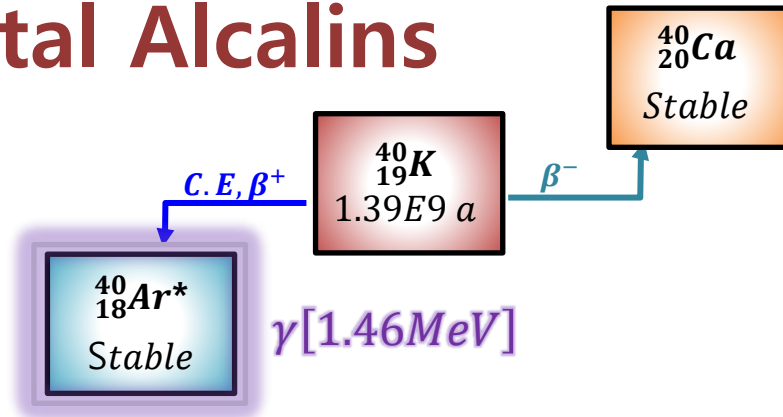
- Dans les formations géologiques, on parle souvent de la série K-U-Th: En effet il s'agit des éléments les plus significatifs par rapport à la mesure radioactive.
- De l'isotope radioactif du Potassium K40
- Il s'agit de l'Uranium avec ses deux isotopes U235 et U238
- De l'isotope naturel et unique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



Cas du Potassium 40:

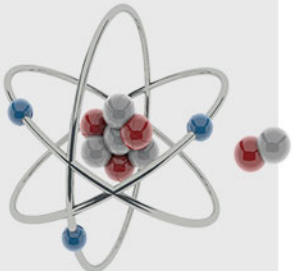
Alcalino-terreux

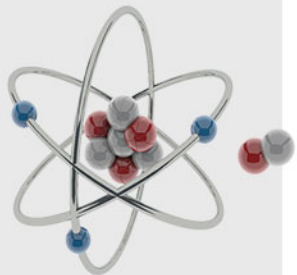
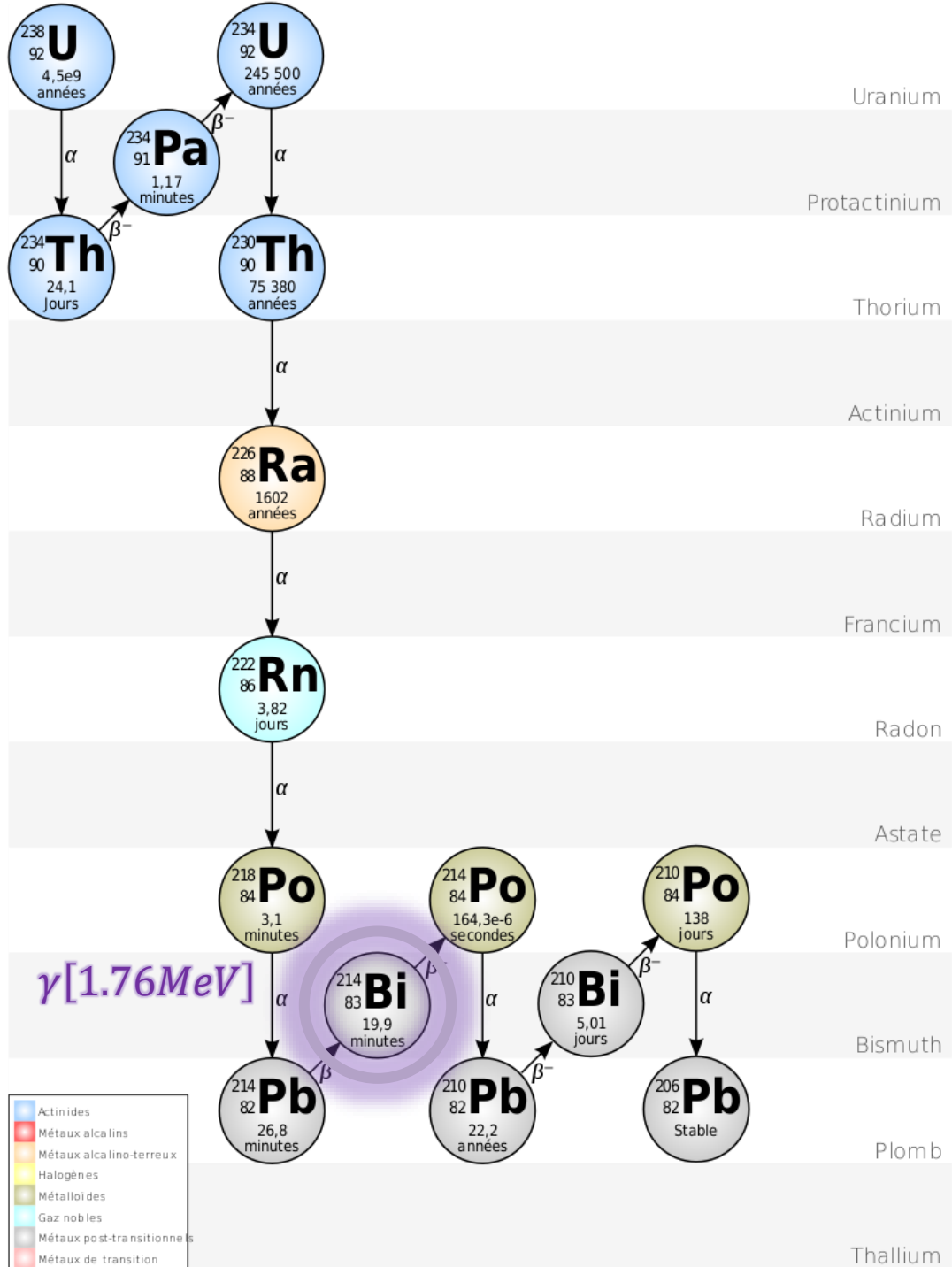
Métal Alcalins



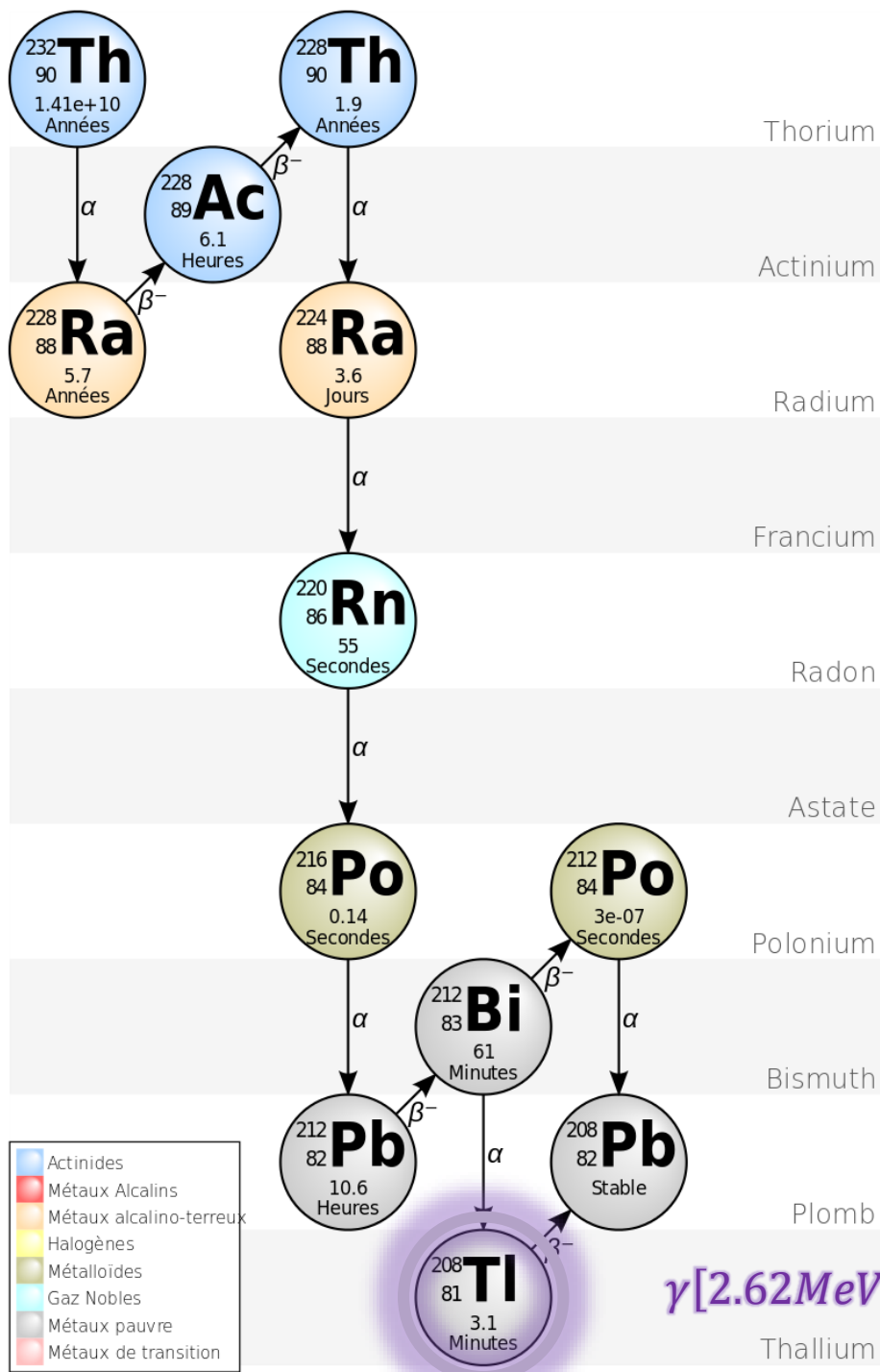
Gaz noble

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

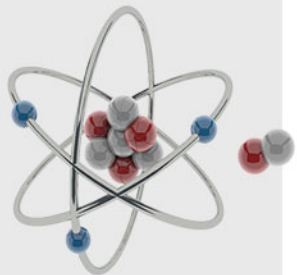




$\gamma [1.76\text{MeV}]$



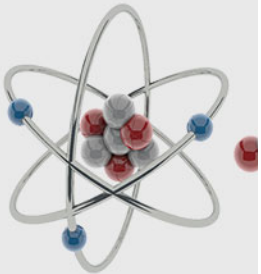
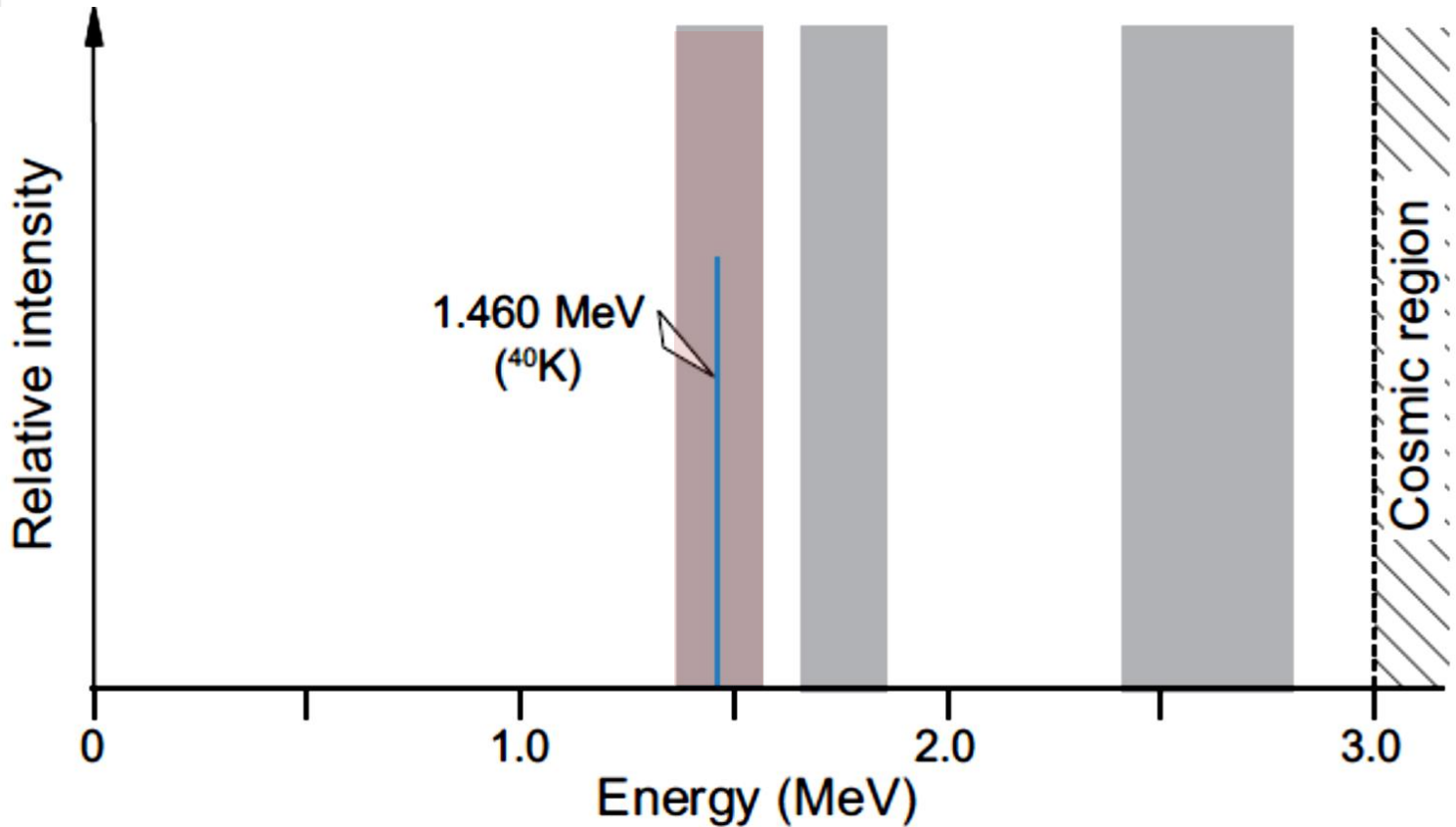
- Actinides
- Métaux Alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Halogènes
- Métalloïdes
- Gaz Nobles
- Métaux pauvre
- Métaux de transition



γ [2.62 MeV]

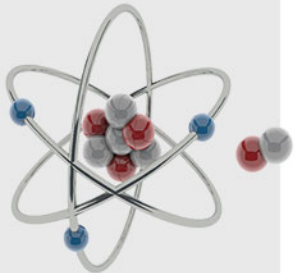
II. La radioactivité dans les formations géologiques.

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

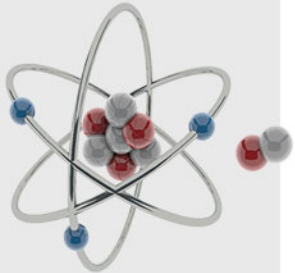
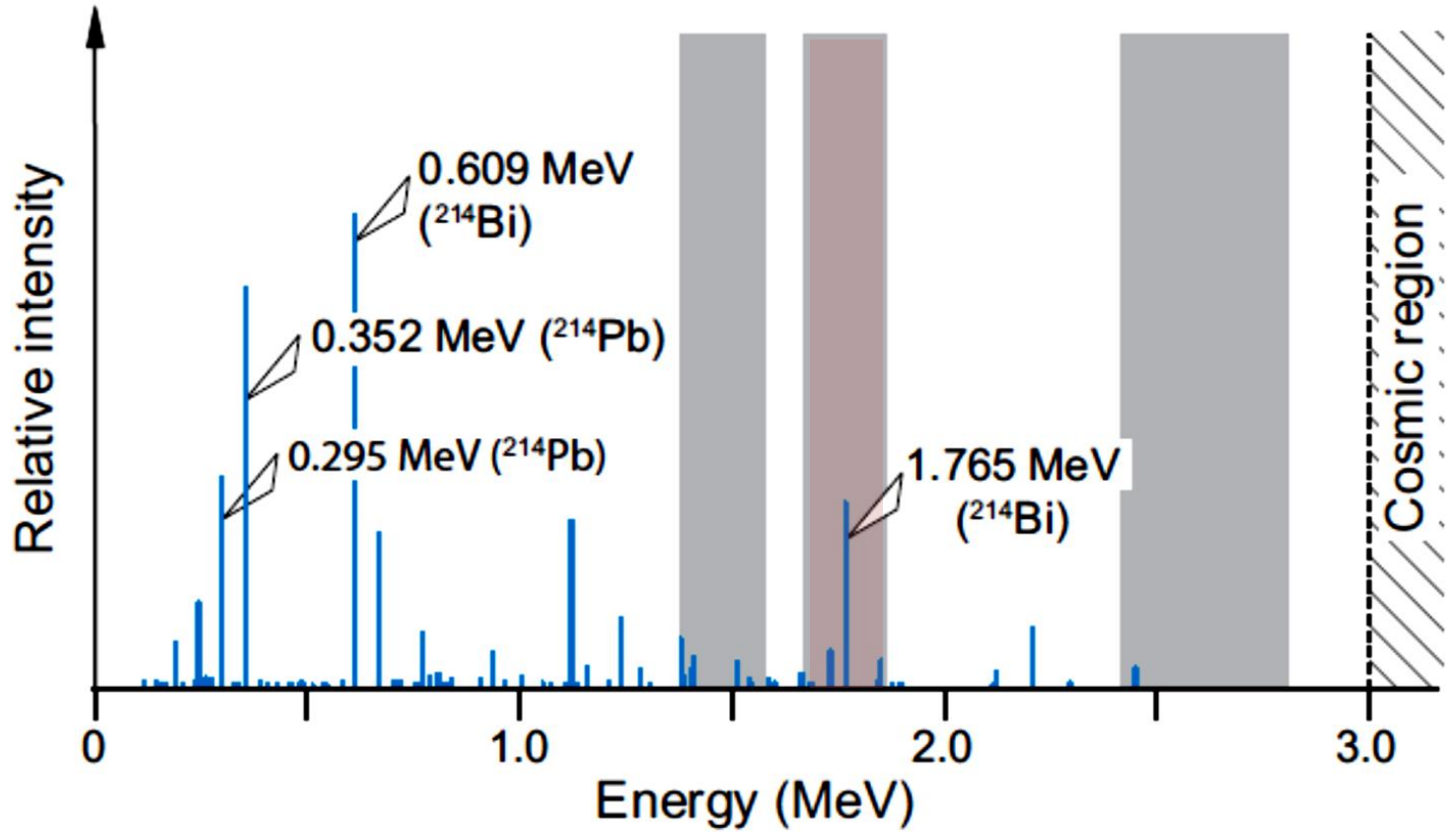


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

| 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 jours | 3.3288×10^{-7} | β, γ | |
| $^{234}_{91}Pa$ | 1.17 min | 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 ans | 1.3737×10^{-11} | α, γ | |
| $^{222}_{86}Rn$ | 3.823 jours | 2.0985×10^{-6} | α, γ | |
| $^{218}_{84}Po$ | 3.05 min | 3.7877×10^{-3} | α, β | |
| $^{214}_{82}Pb^*$ | 26.8 min | 4.3106×10^{-4} | β, γ | 0.29, 0.35 |
| $^{214}_{83}Bi^*$ | 19.9 min | 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 ans | 2.3697×10^{-8} | β, γ | |
| $^{210}_{83}Bi$ | 5.013 jours | 1.6003×10^{-6} | β, γ | |
| $^{210}_{84}Po$ | 138.38 jours | 5.7974×10^{-8} | α | |
| $^{206}_{82}Pb$ | stable | --- | | |

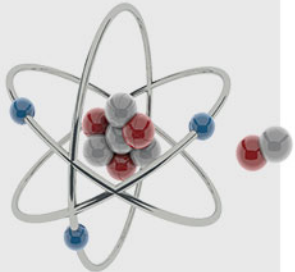


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

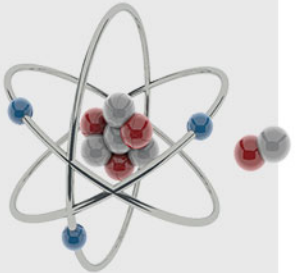
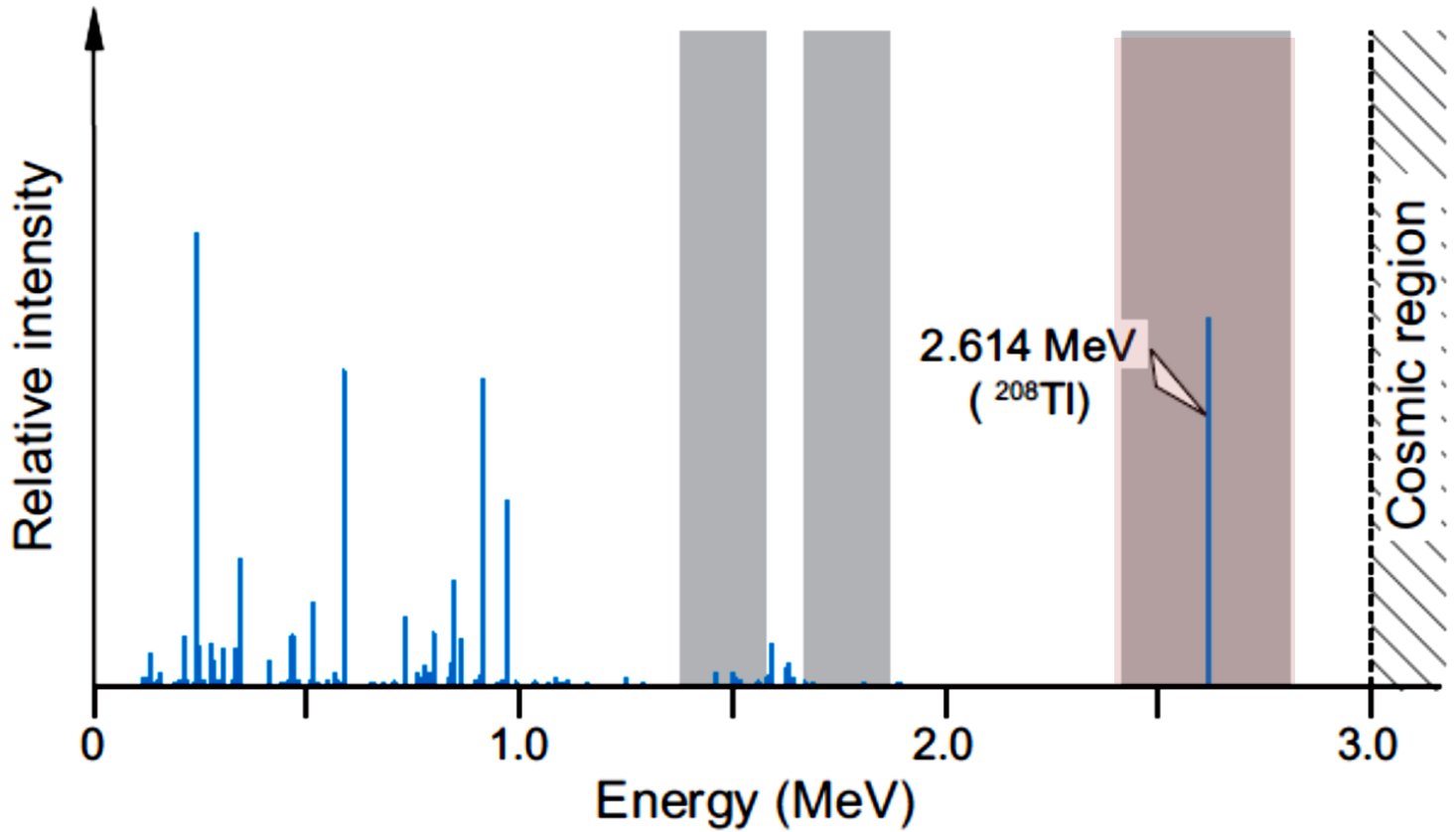


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

| 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 | --- | | |

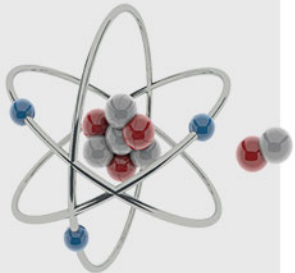
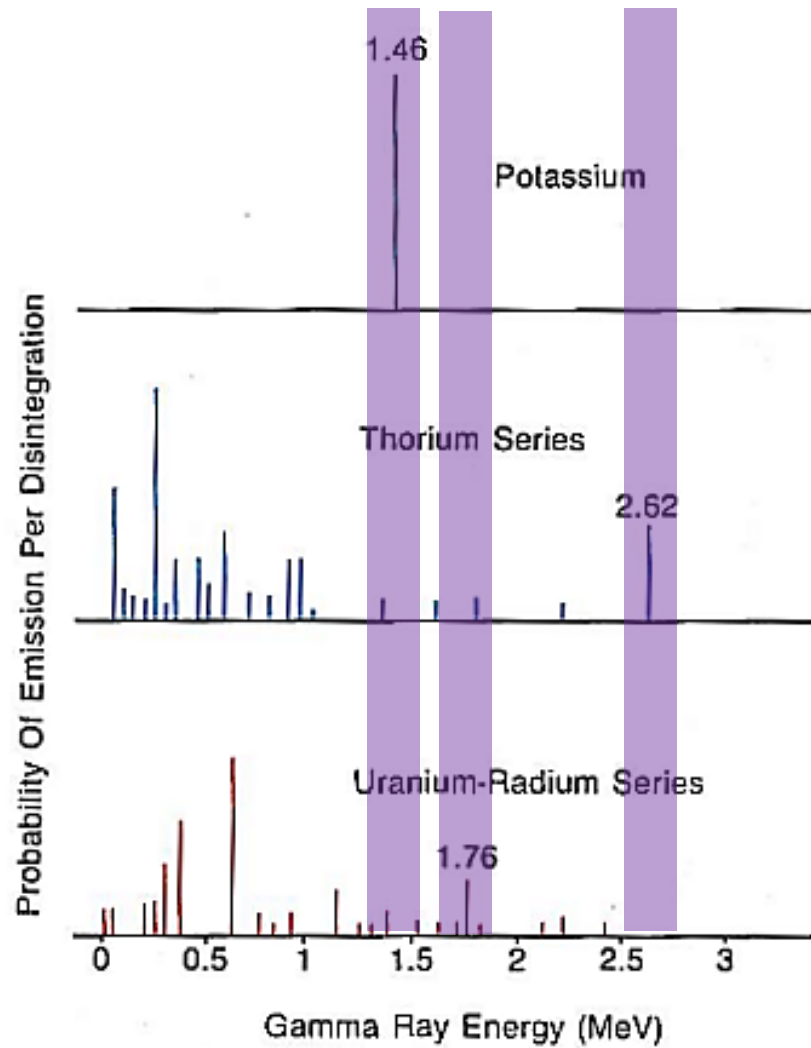


II. La radioactivité dans les formations géologiques.



II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Séries : K-U-Th

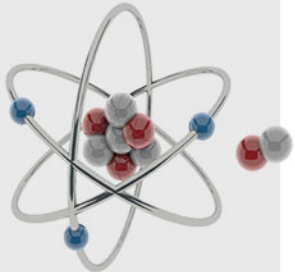


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Mesure de la radioactivité γ

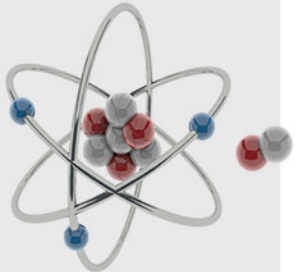
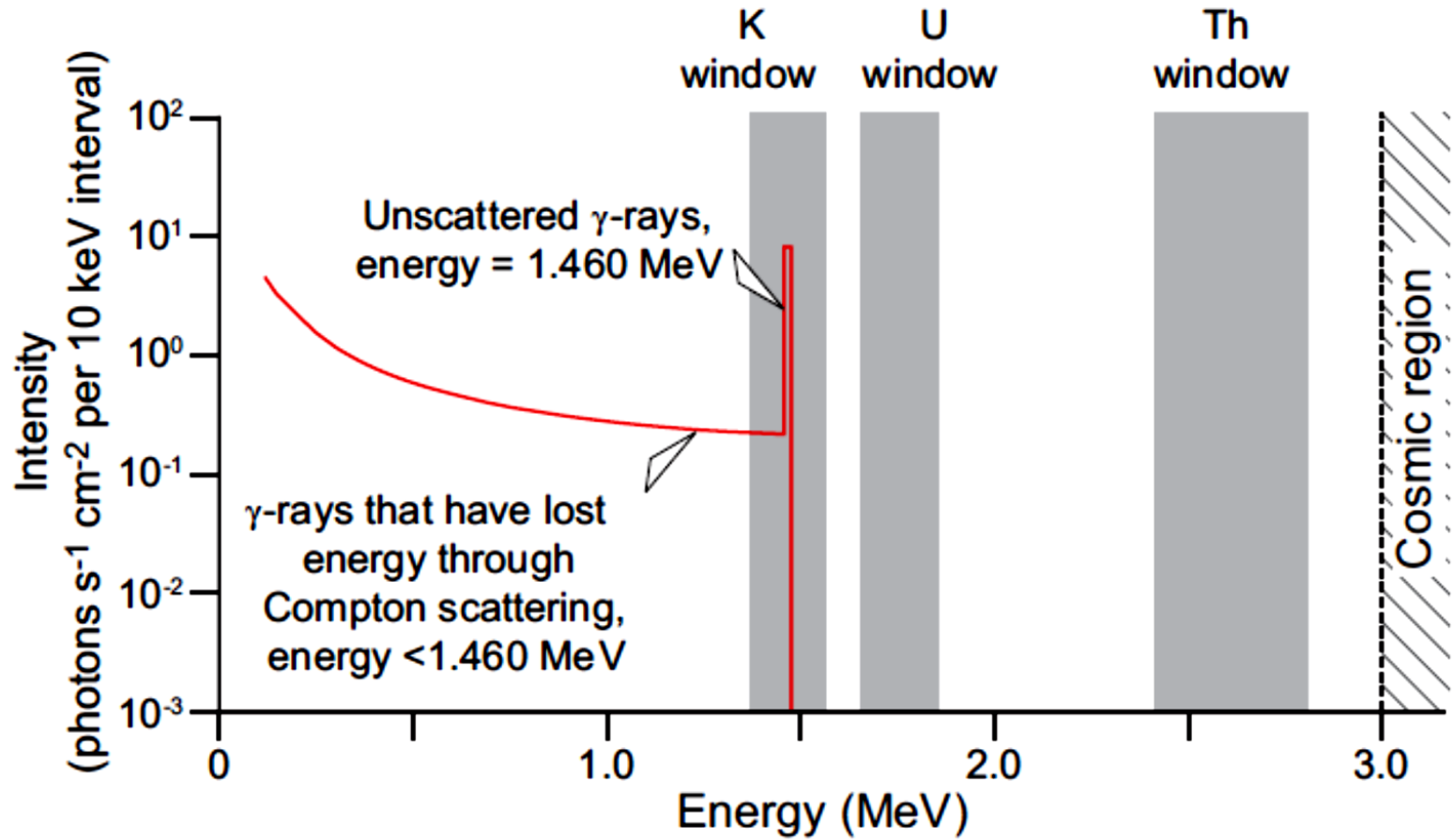
La mesure réelle de l'émission γ en provenance d'un isotope radioactif doit tenir en compte tous les phénomènes d'interaction γ -matière, à savoir:

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



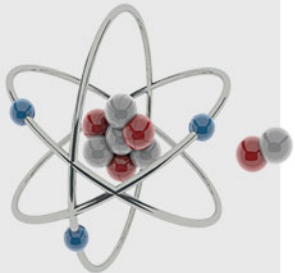
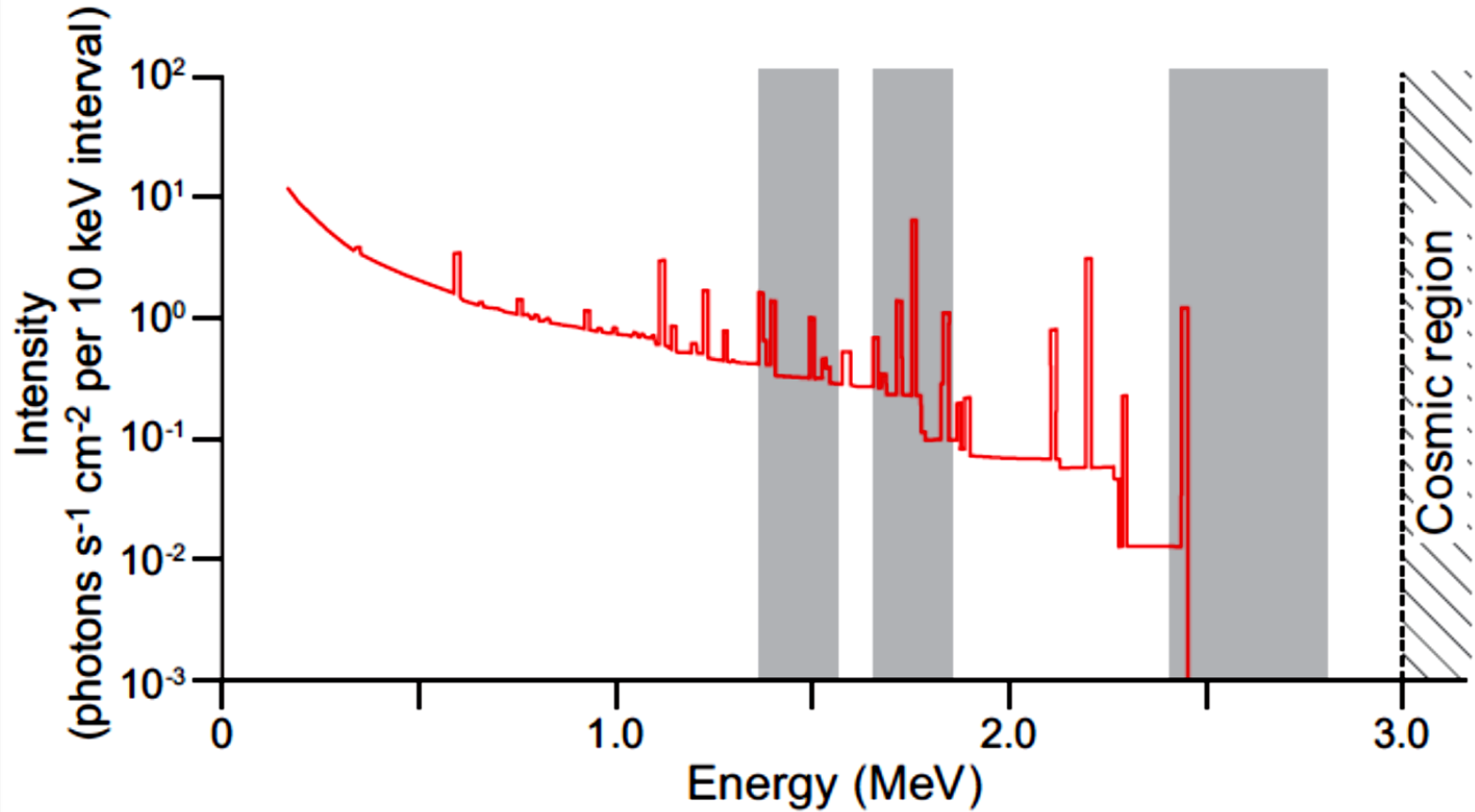
II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Mesure de la radioactivité K40



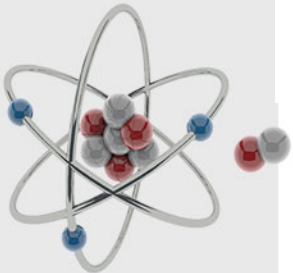
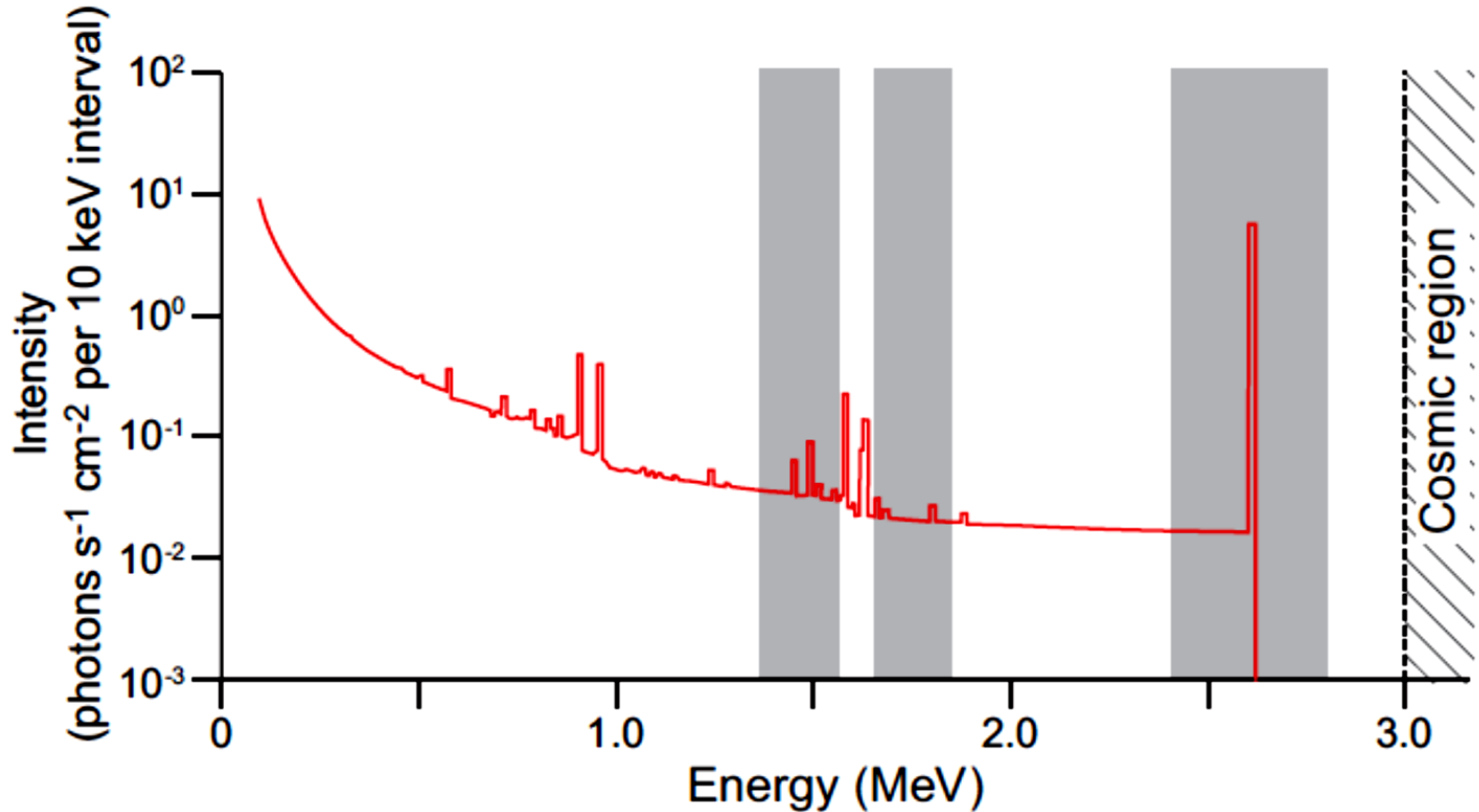
II. La radioactivité dans les formations géologiques.

Mesure de la radioactivité U238



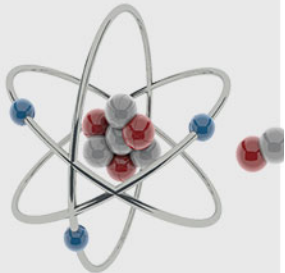
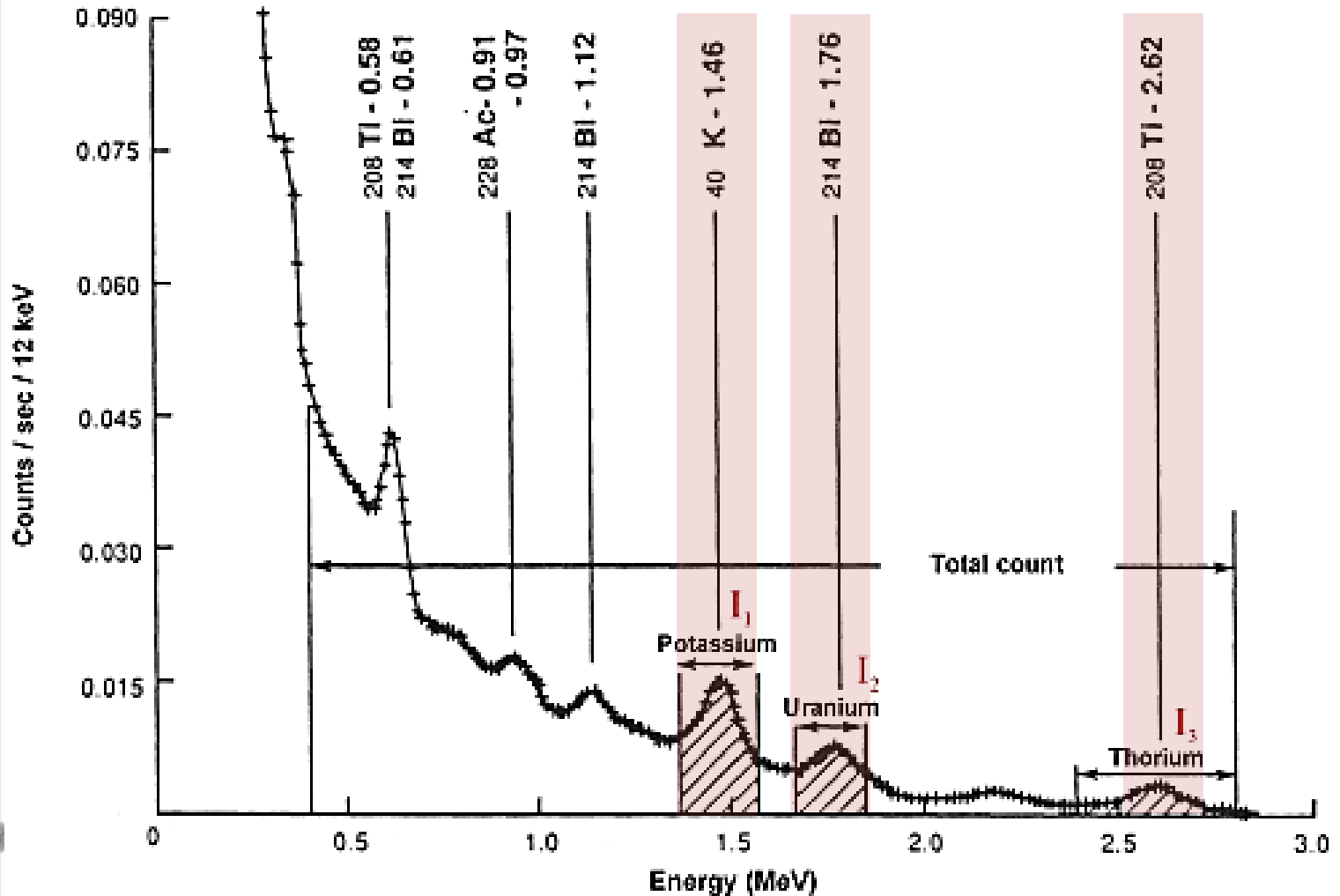
II. La radioactivité dans les formations géologiques.

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 | |

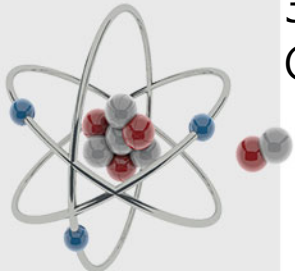
* : Activité donnée en Bq [1 désint./s]

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.

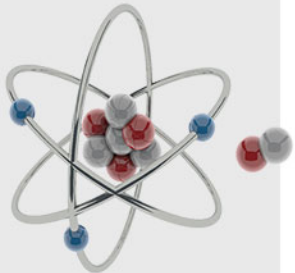
Activité radioactivité par g d'isotope

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

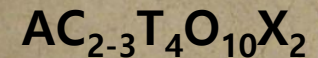


Feldspath (Feld)
(Ba,Ca,Na,K,NH₄)

est un
Feldsp



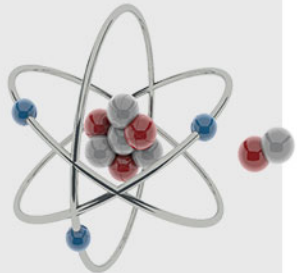
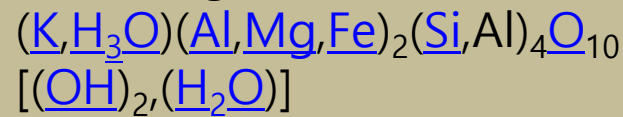
Mica



ment present dans les



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 trouvés dans les minéraux silicatés

❑ Ils ont tendance à se concentrer dans les minéraux carbonatés

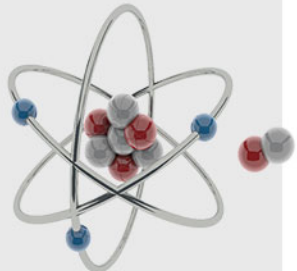
❑ L'Uranium peut former des minéraux de figure il peut être présent dans les grains;

❑ Les Quartz, Feldspars et les Micas

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

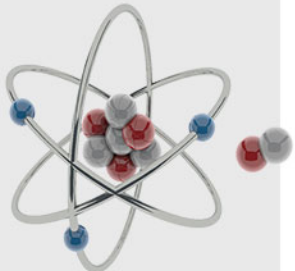
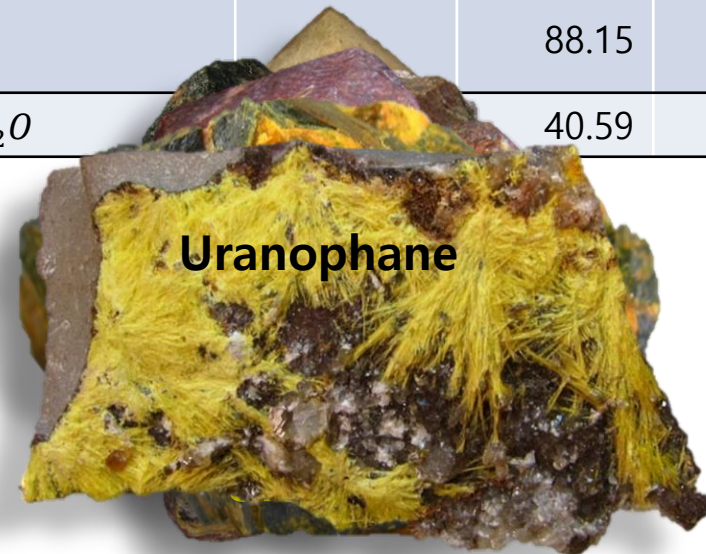
| Minerai | Mineral | Formule | Wt% K | Wt% U | Wt% Th |
|--------------------------|----------------------|---|-------|-------|--------|
| Feldspath | Feldspars | | | | |
| Orthose | Orthoclase | $KAlSi_3O_8$ | 14.05 | | |
| Microcline | Microcline | $KAlSi_3O_8$ | 14.05 | | |
| Sanidine | Sanidine | $(K, Na)(Si, Al)_4O_8$ | 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 | |

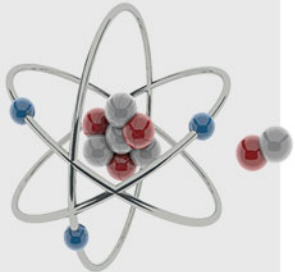


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

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 | | |

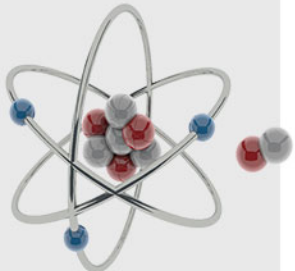


II. La radioactivité dans les formations géologiques.

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.

