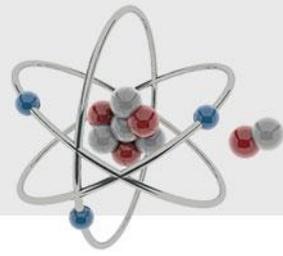


# Prospection Radionucléaire

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 en radionucléaire

**Chapitre 4: Recherche et prospection radionucléaire**

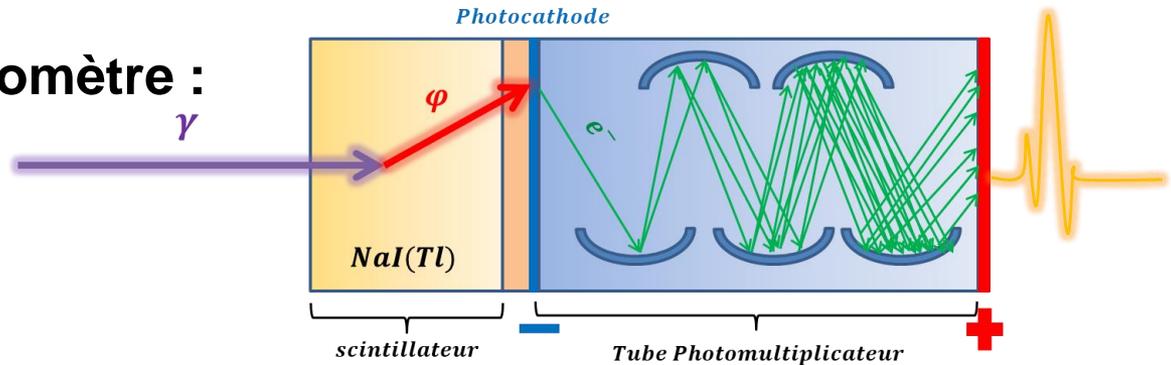
### Bibliographie:

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

# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

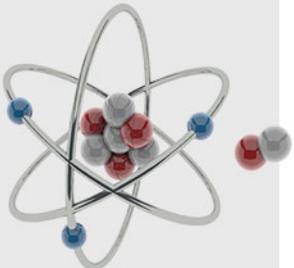
## - Détecteurs de radiations.

### A. Scintillomètre :



Basés sur l'effet de scintillation que provoque les rayonnements  $\gamma$  lors de leur passage dans le cristal ( $NaI(Tl)$ ) et qui est enregistré par effet photoélectrique grâce à un système embarqué avec le scintillateur et amplifié (Photomultiplicateur) pour obtenir un signal significatif.

On y trouve des instruments portables (qlques kg) et moins volumineux, comme il existe des versions plus volumineux montés sur des engins motorisés ou volants.

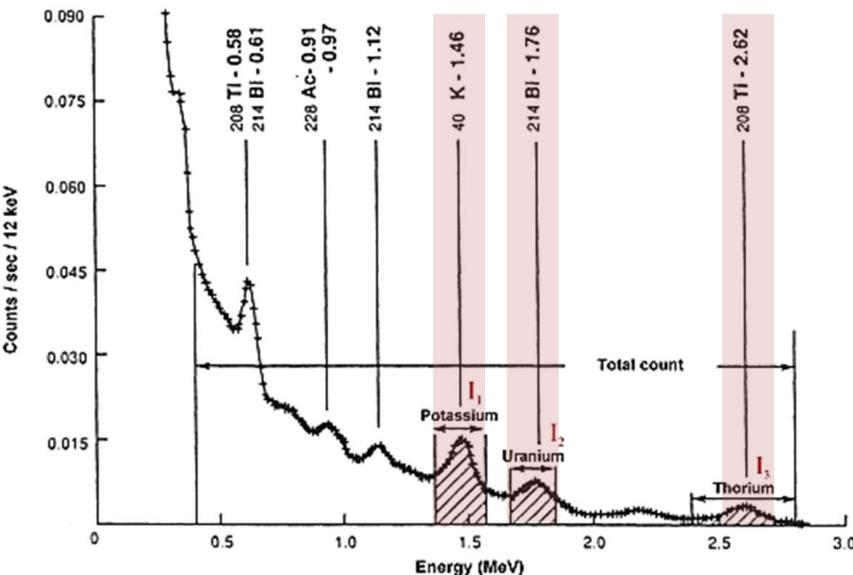


# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Détecteurs de radiations.

## B. Spectromètre $\gamma$ :

C'est un scintillomètre sophistiqué pouvant mesurer les rayonnements  $\gamma$  avec des enregistrements discrets et fins (en fonction du nombre de canaux). Il peut également donner une information sur la géochimie de la source radioactive.



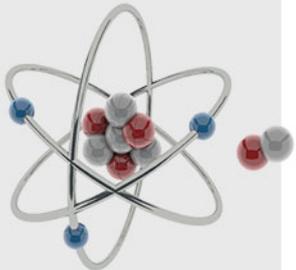
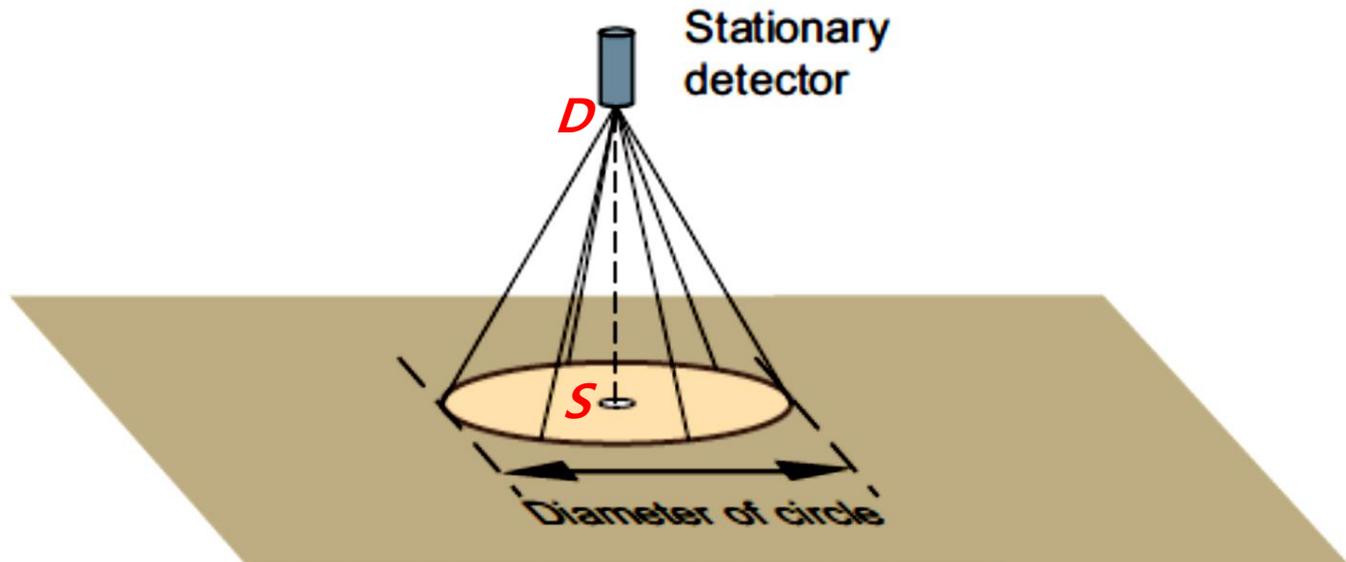
Window	Target nuclide	Energy (MeV)
Total count		0.410–2.810
Potassium	$^{40}\text{K}$ (1.460 MeV)	1.370–1.570
Uranium	$^{214}\text{Bi}$ (1.765 MeV) in the $^{238}\text{U}$ series	1.660–1.860
Thorium	$^{208}\text{Tl}$ (2.614 MeV) in the $^{232}\text{Th}$ series	2.410–2.810
Cosmic		3.0 to infinity

# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Facteurs affectant la mesure.

## 1. Géométrie de détection – Champ de vision:

Si on considère une source radioactive plane infinie sans atténuation à travers le sol ou l'air, dans ce cas tous les gammas quittant la source, peuvent contribuer dans la mesure.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

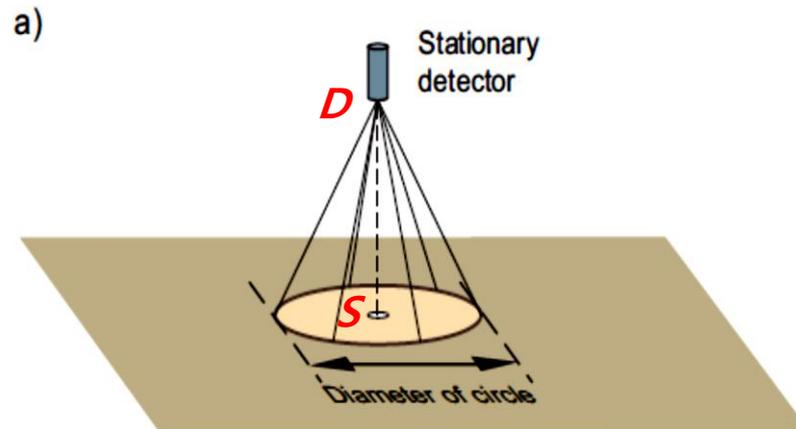
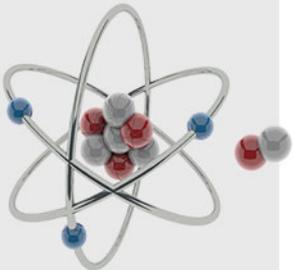
## - Facteurs affectant la mesure.

### 1. Géométrie de détection – Champ de vision:

Plus le détecteur (D) est proche à la source (S), moins il y aura d'effet d'atténuation des gammas dans l'air séparant la source du détecteur:

$$A = A_0 \cdot e^{-\mu X} \rightarrow D \uparrow \rightarrow e^{-\mu X} \downarrow \rightarrow A \downarrow$$

Ceci implique que la mesure sera affectée par le fait que la distance  $X=DS$  est plus ou moins grande.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Facteurs affectant la mesure.

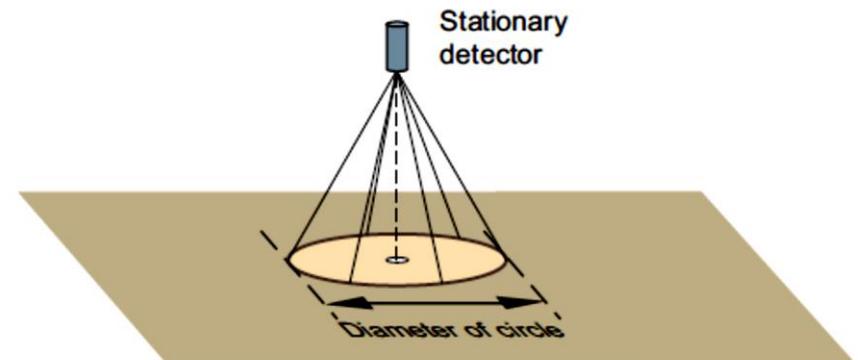
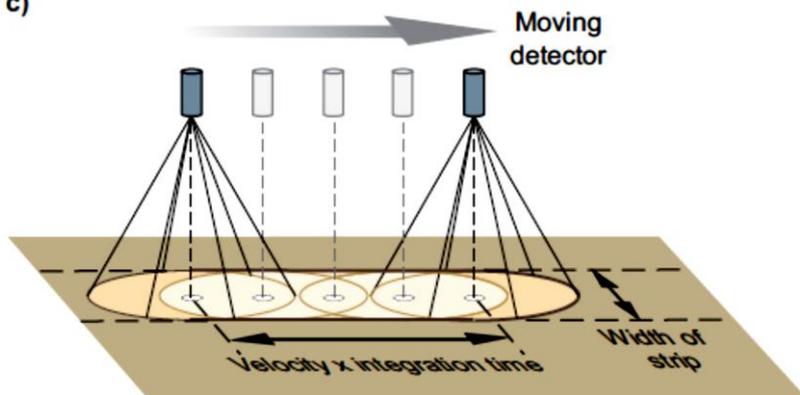
## 1. Géométrie de détection – Champ de vision:

C'est un paramètre important qui caractérise l'opération de prospection et qui affecte par la suite l'interprétation des données est le champ de vision du détecteur.

Détection fixe: Cercle d'investigation

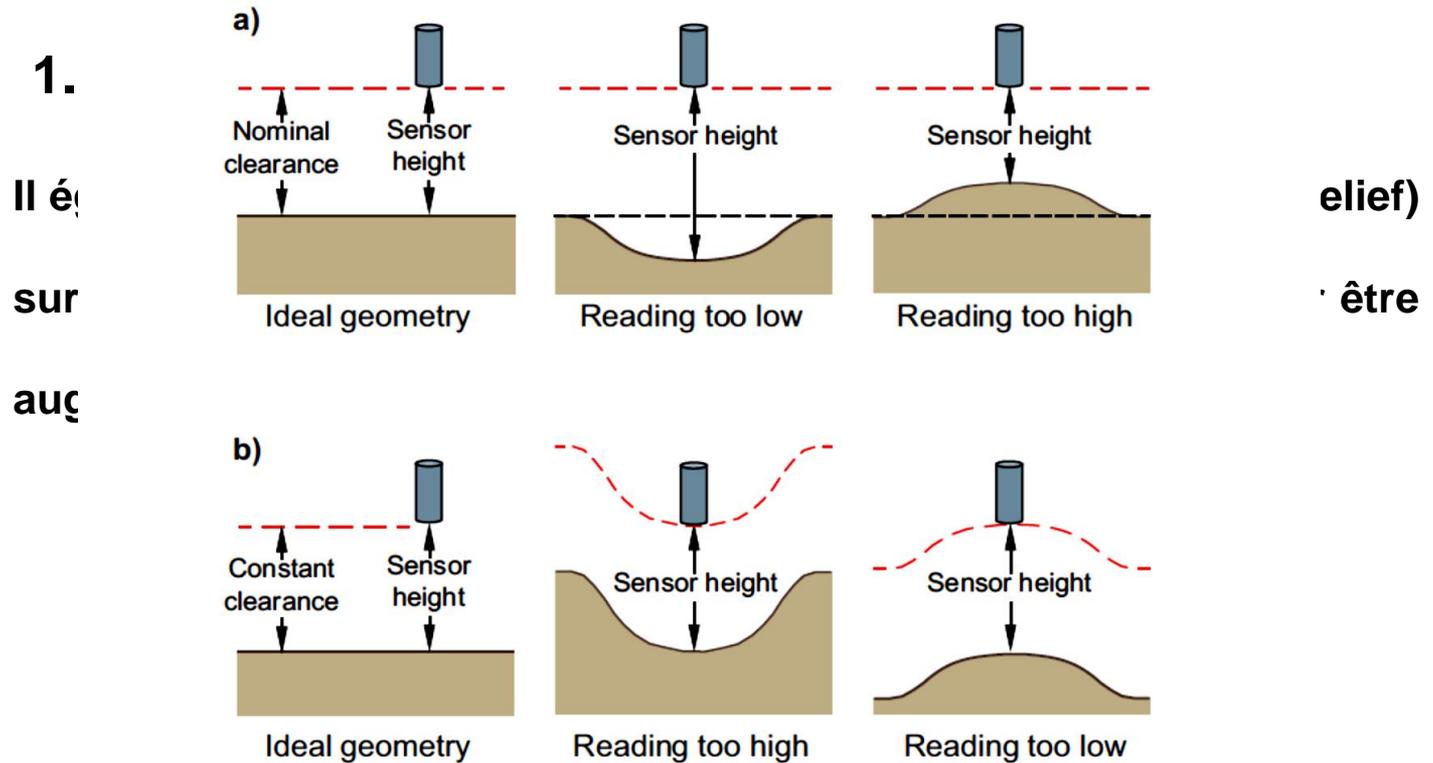
Détection mobile: bande d'investigation

c)

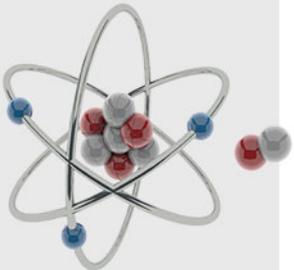


# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

## - Facteurs affectant la mesure.



**Figure 2.7** Influence of topography on geophysical measurements. (a) Effects when sensor height varies, as with *loose-draped* airborne surveys. (b) Effects when the sensor is maintained at constant terrain clearance, as in ground and *close-draped* airborne surveys in rugged terrain. Note how the effects of the topography on the reading are opposite in (a) and (b).



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

## - Facteurs affectant la mesure.

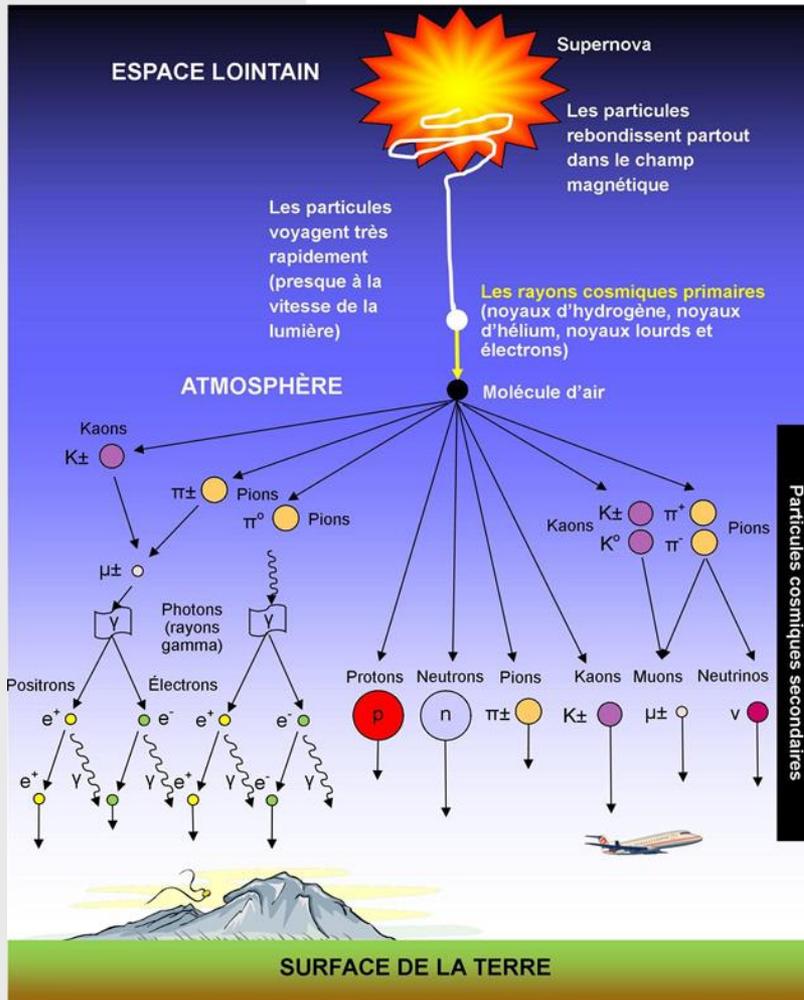
### 2. Rayonnement de fond (Background Radiation):

Constituée typiquement par des rayonnements cosmiques ( $\geq 3\text{MeV}$ ) et les rayonnements en provenance de l'appareillage (avion, instruments...).

Les rayonnements cosmiques sont relativement d'une contribution constante partout, bien que leurs amplitudes sont réduites autant que l'altitude diminue.

L'élimination de ces rayonnements de la mesure se fait par l'ajout d'un canal pour mesurer ces radiations, avec une fenêtre ( $3 - 6\text{MeV}$ ).

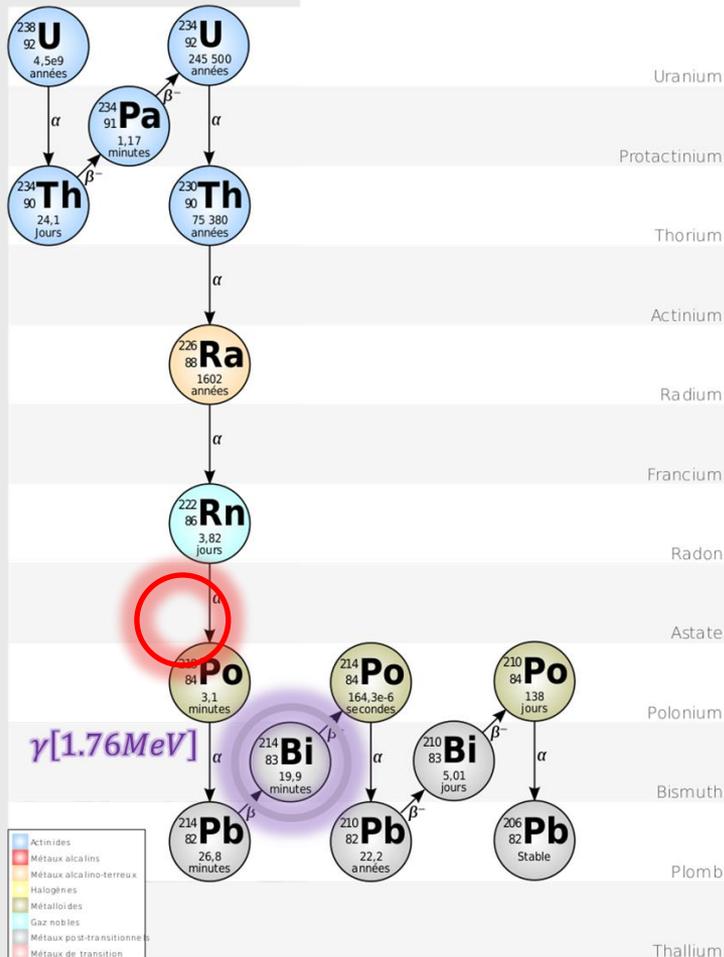
Elle peut être également déterminée par des vols-tests à très haute altitude ( $>1000\text{m}$ ) ou le survol des grands plans d'eau.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

## - Facteurs affectant la mesure.

### 3. Le radon atmosphérique:



Même si que le Radon est un descendant de l'Uranium, le fait qu'il est un gaz rare, donc très mobile et peut facilement se déplacer, dans les porosités et dans l'atmosphère.

On peut éliminer cette source parasite, par l'utilisation d'un détecteur monté vers le haut (fenêtre supérieure) pour définir la correction.

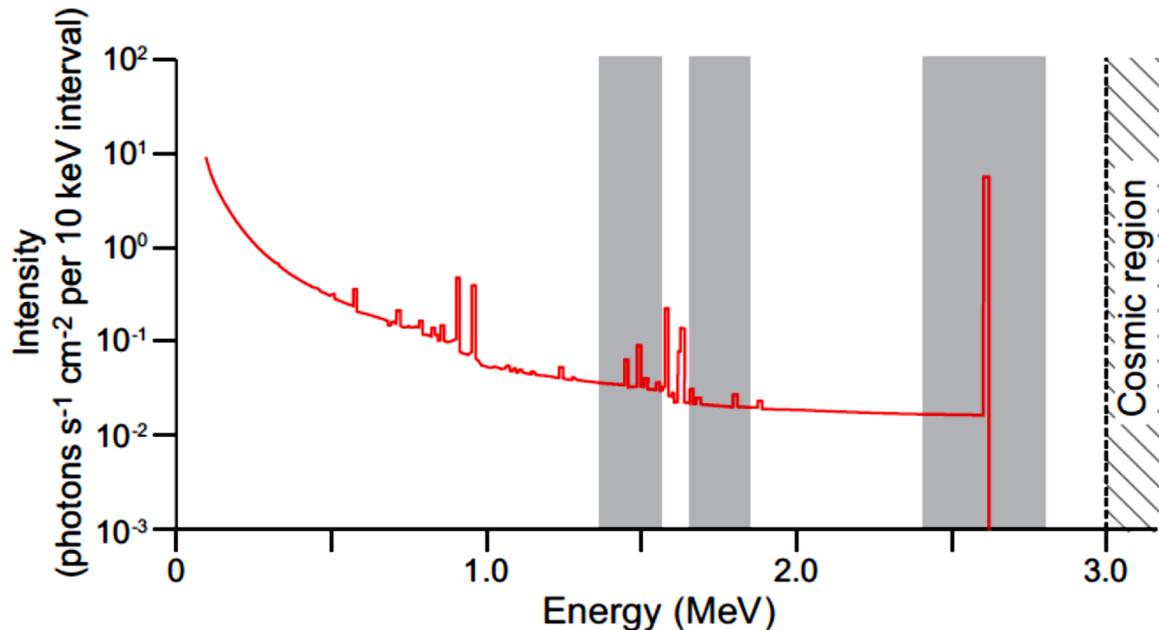
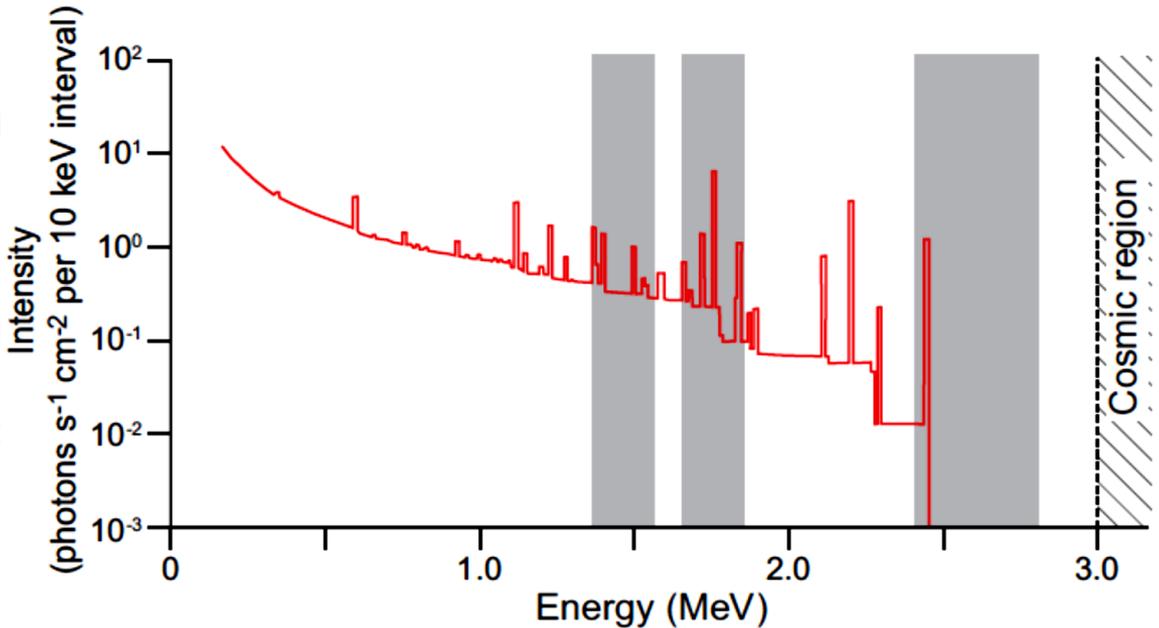
Il est également possible d'utiliser des filtres à air pour analyser sa teneur en Radon et exprimer sa proportion radioactive.

# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Facteurs

## 3. L'effet Co

Les fenêtres de  
détection concernent  
que les  $\gamma$  de  $E$   
inférieurs.



l'U et K le sera par les gammas  
Uranium.

à calibrage sur des sources bien  
stripage: exprimant la proportion  
1 canal au-dessous.

# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

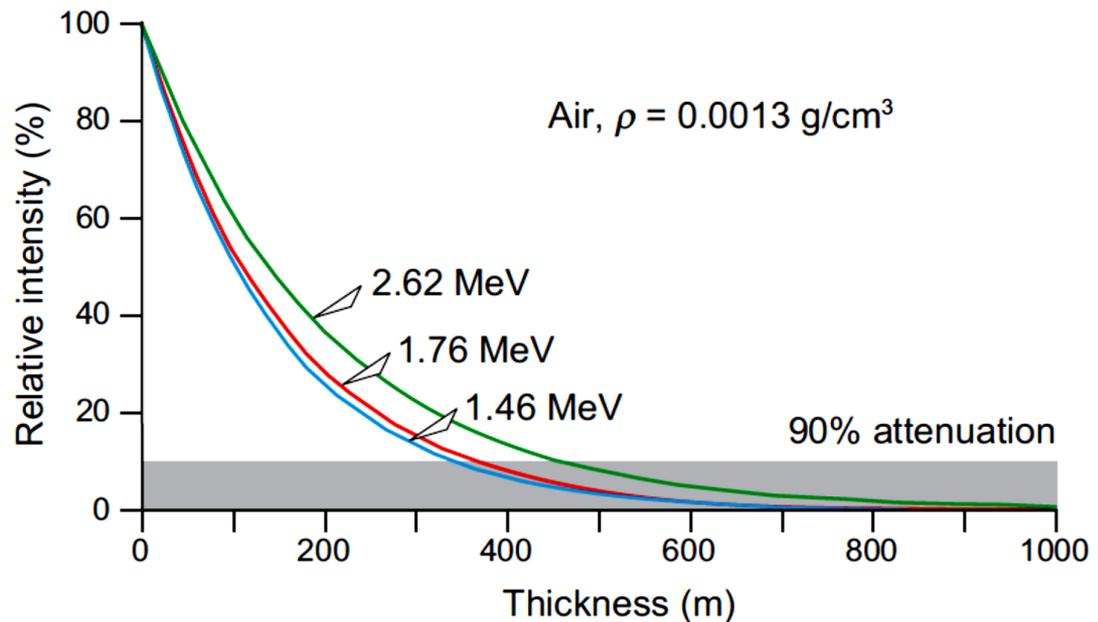
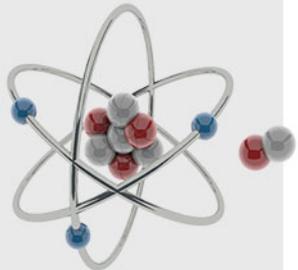
- Facteurs affectant la mesure.

## 4. Atténuation due à l'altitude

L'intensité des  $\gamma$  mesurée au niveau du détecteur, décroît avec l'augmentation de la hauteur au dessus de la source radioactive, exprimant l'atténuation des  $\gamma$ .

Le taux d'atténuation est fonction de l'énergie du  $\gamma$  et la géométrie de la source.

En plus de la quantité d'air qui existe dans l'espace séparant le Détecteur de la Source.



# **IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.**

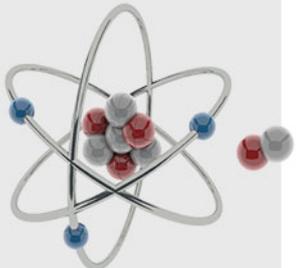
## **- Calibration du détecteur (étalonnage)**

**C'est une opération nécessaire avant la conduction de toute prospection radionucléaire.**

**Elle permet d'ajuster les fenêtres de mesures pour chaque élément.**

**Elle permet de définir les coefficients de sensibilité pour le détecteur en question, afin de pouvoir remonter aux concentrations des éléments prospectés.**

**Pour se faire, des sources standards avec configuration proche de la situation réelle sont confectionnées et validées pour utilisation à chaque mission de prospection.**



## IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Calibration du détecteur (étalonnage)
- Source radioactive de référence

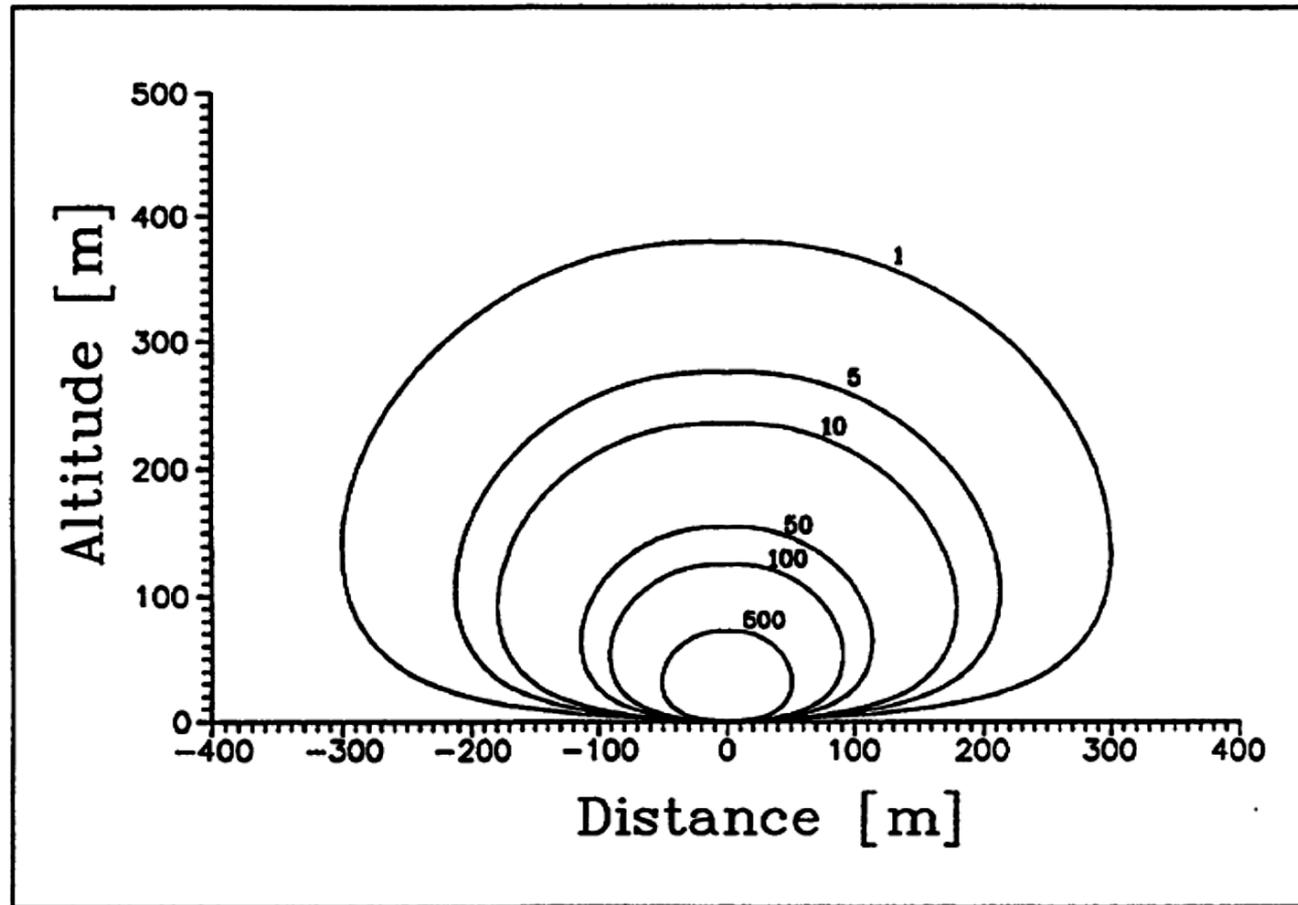
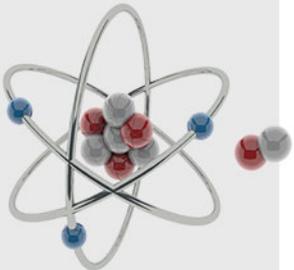


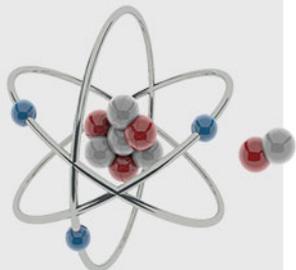
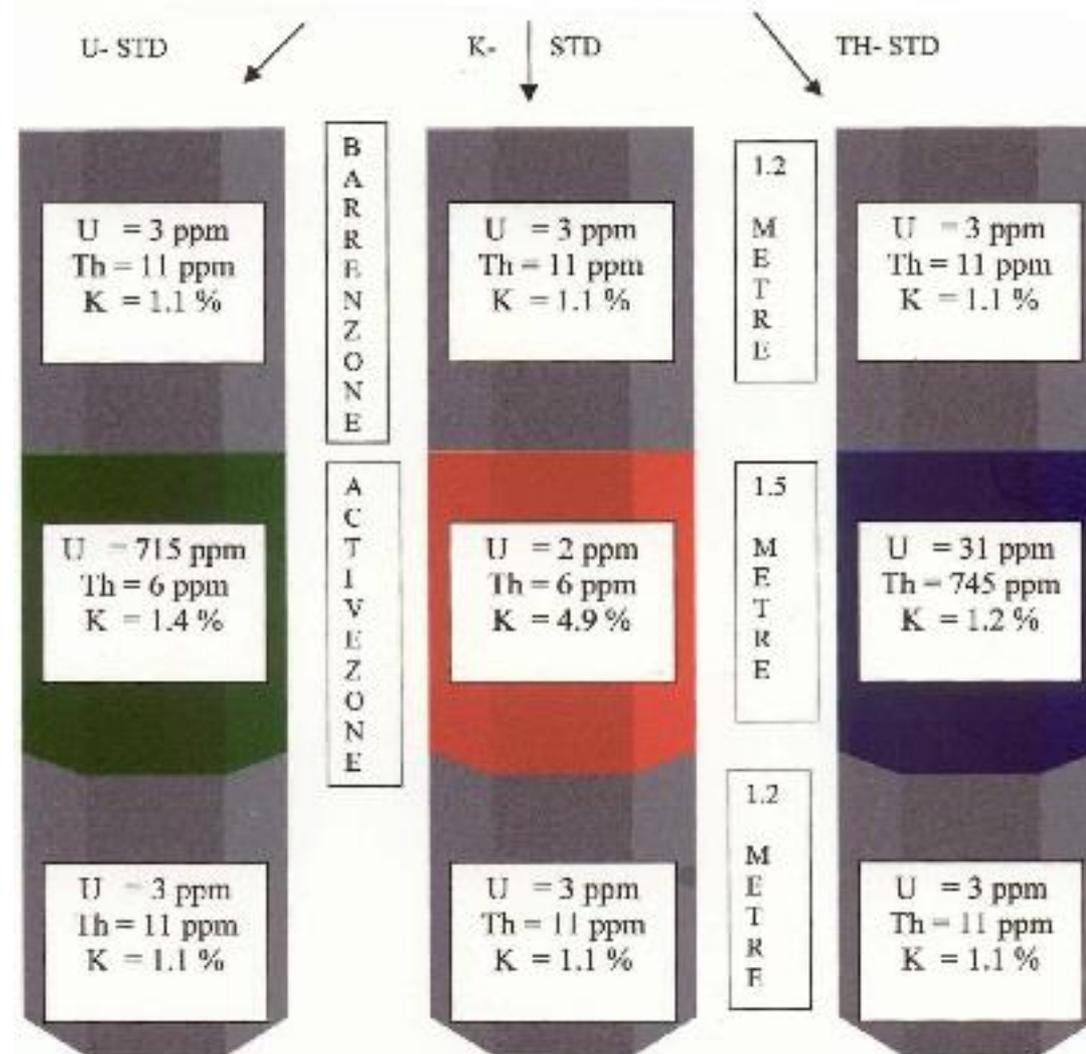
FIG. 6. Modelled count rate (1, 5, 10, 50, 100, 500 cps isolines) of a of a 1.9 GBq (50 mCi)  $Cs^{137}$  source buried at a depth of 1 cm using the experimentally determined detector efficiency.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Calibration du détecteur (étalonnage)

□ Dalles de béton avec composition définie



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Calibration du détecteur (étalonnage)

□ Bloc de béton avec composition définie

Pad	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
K	5.28	0.9	2.2
U(I)	0.87	10.4	3.4
U(II)	0.78	21.70	3.2
Th	0.85	1.7	41.8
Mixed	3.85	14.8	21.4



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Calibration du détecteur (étalonnage)

□ Bacs mobiles avec composition définie

Pad	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
K	9.15	0.5	1.8
U	0.3	49	2.9
Th	0.2	5.4	105
Mixed	4.88	23.4	52.3
BG	0.2	0.5	1.8



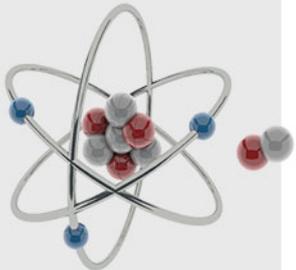
K-Pad

U-Pad

Th-Pad

Mix-Pad

BG Pad



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

## - Prospection radionucléaire.

### A. Types de prospection :

#### 1. Prospection de surface (pédestre ou motorisée):

Elle s'effectue soit avec un détecteur léger (portable par une personne) a petit volume ( $\sim$ qlqes  $dm^3$ )



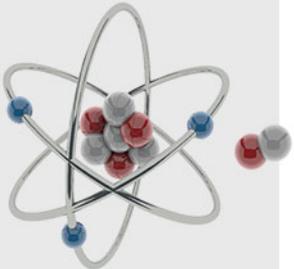
# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Prospection radionucléaire.

## A. Types de prospection :

### 1. Prospection de surface (pédestre ou motorisée):

Elle s'effectue soit avec un détecteur léger (portable par une personne) a petit volume ( $\sim$ qlqes  $dm^3$ )



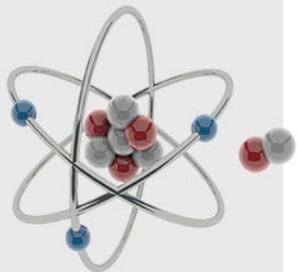
# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

## - Prospection radionucléaire.

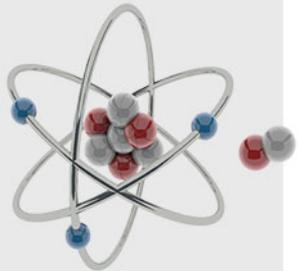
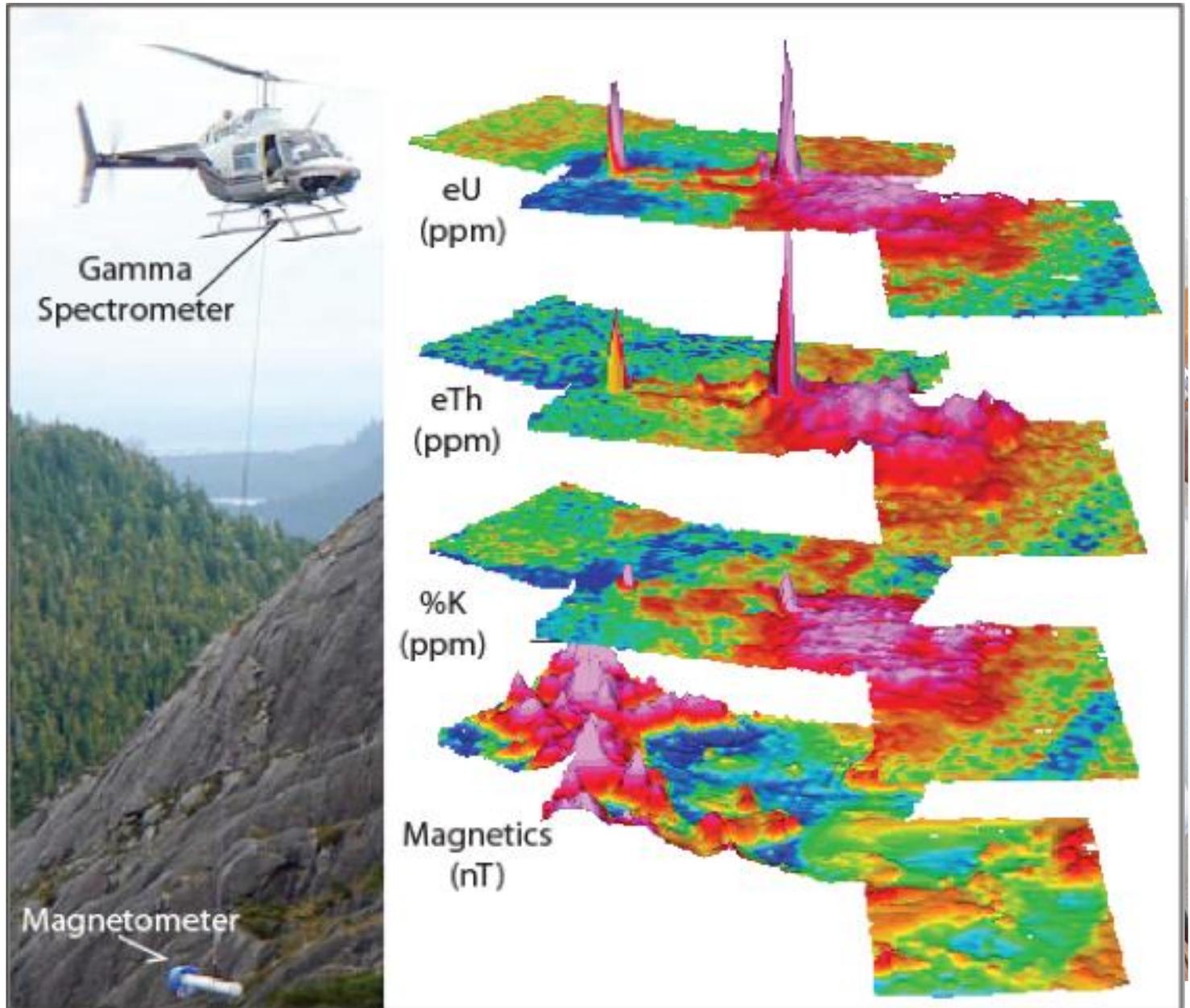
### A. Types de prospection :

#### 1. Prospection de surface (pédestre ou motorisée):

Soit avec des détecteurs relativement plus lourds (~qlqes *litres*)  
montés sur des véhicules.



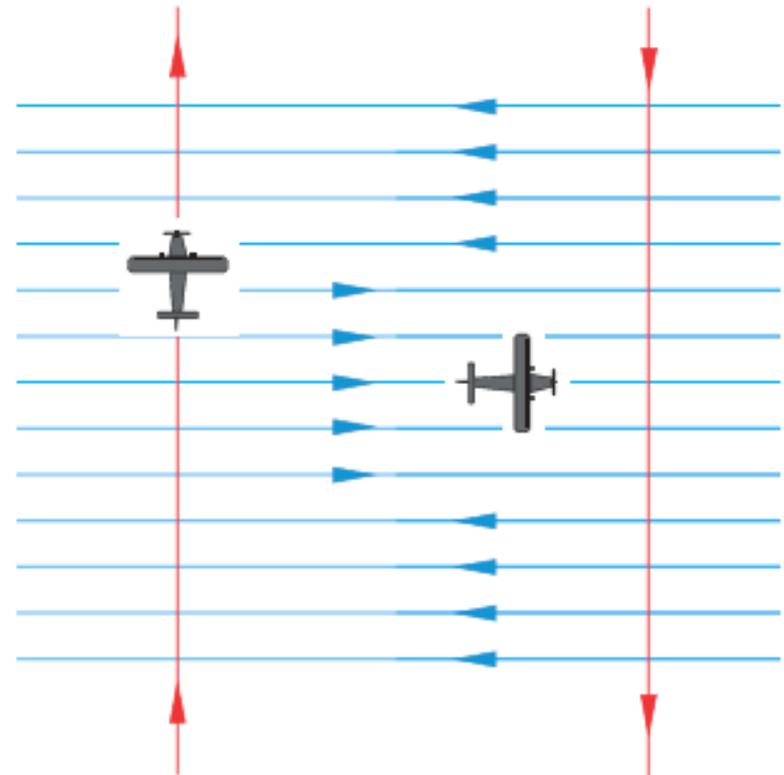
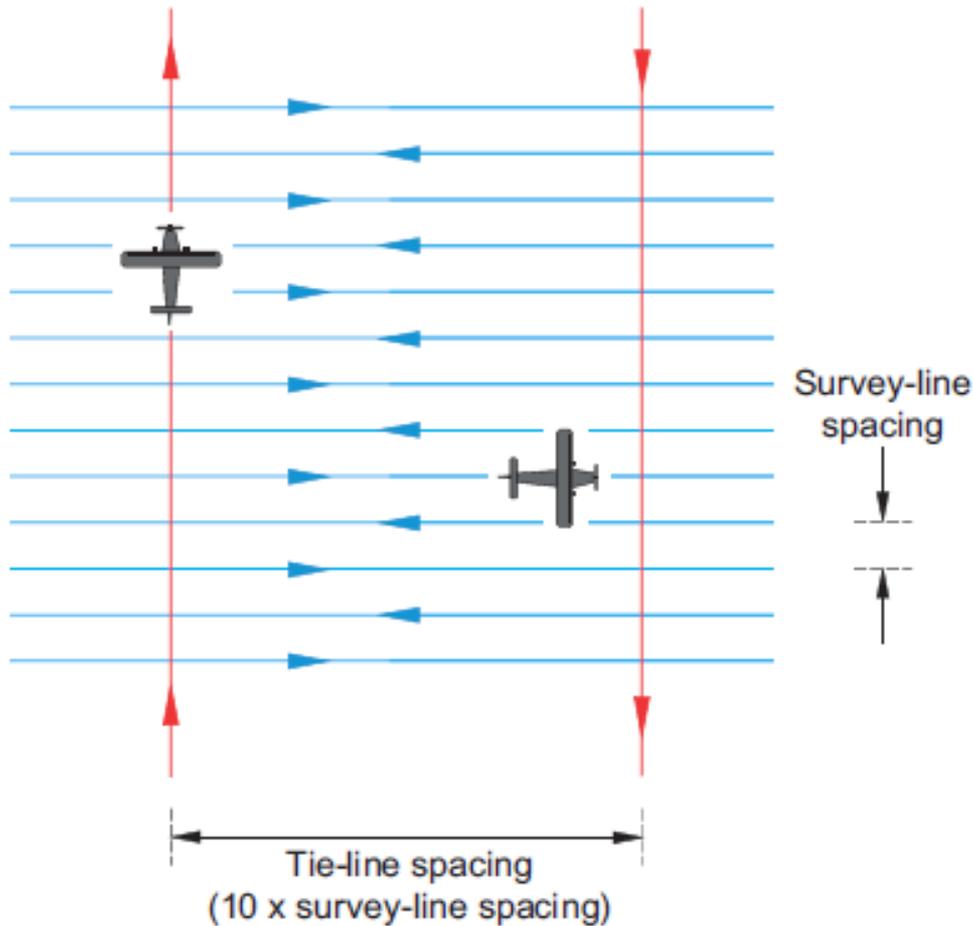
# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

## - Prospection radionucléaire.

### A. Types de prospection :



n)

# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

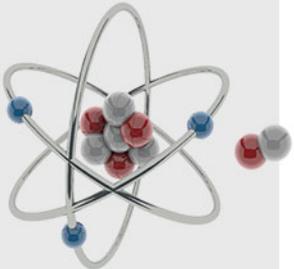
- **Traitement des données radiométriques.**

## A. Types de Corrections :

### 1. Correction du bruit de fond:

L'enregistrement de la radioactivité est dû aux éléments radioactifs présents dans la croûte terrestre et d'un fond résiduel. Ce dernier est composé de:

- Rayonnements cosmiques (fond cosmique)**
- Radon: élément radioactif présent dans l'air et les fluides**
- Fond instrumental dû à l'appareillage**

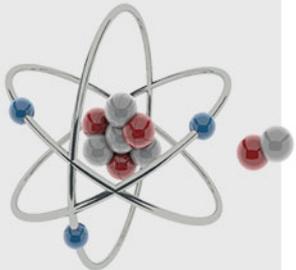
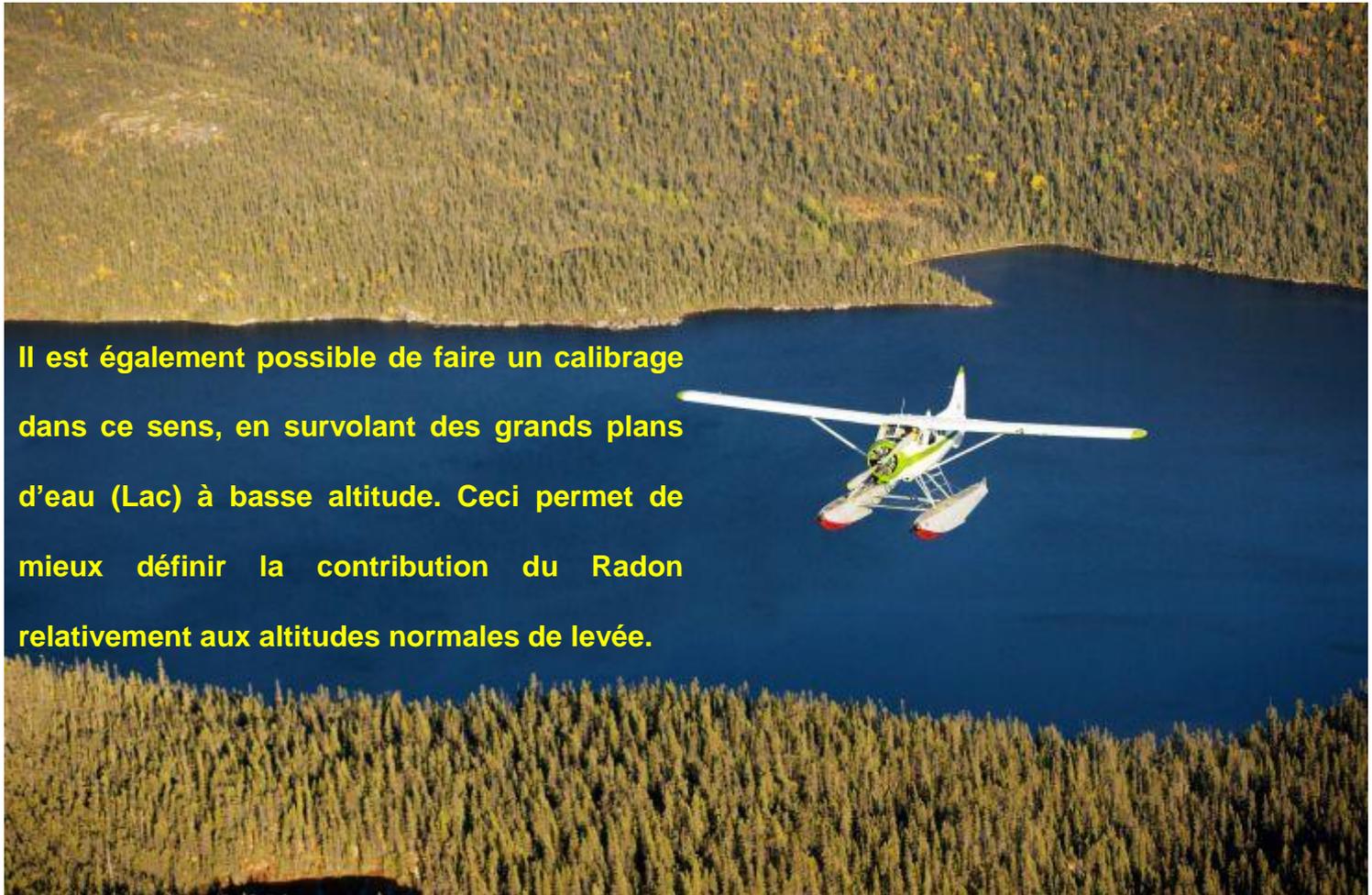


# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## A. Types de Corrections :

Il est également possible de faire un calibrage dans ce sens, en survolant des grands plans d'eau (Lac) à basse altitude. Ceci permet de mieux définir la contribution du Radon relativement aux altitudes normales de levée.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## A. Types de Corrections :

### 1. Correction du bruit de fond:

Ainsi il est possible de définir le comptage de bruit de fond pour chaque élément, ainsi que le comptage total:

$$BF_{TC}; BF_K; BF_U; BF_{Th}$$

Pour obtenir ainsi les comptages corrigés:

$$TC_{corr} = TC_{obs} - BF_{TC}$$

$$K_{corr} = K_{obs} - BF_K$$

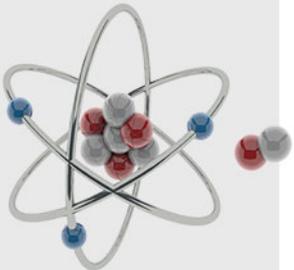
$$U_{corr} = U_{obs} - BF_U$$

$$Th_{corr} = Th_{obs} - BF_{Th}$$

$BF_{TC}; BF_K; BF_U; BF_{Th}$ : Valeurs de bruit de fond des quatre canaux

$TC_{obs}; K_{obs}; U_{obs}; Th_{obs}$ : Valeurs brutes des quatre canaux

$TC_{corr}; K_{corr}; U_{corr}; Th_{corr}$ : Valeurs corrigées des quatre canaux



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

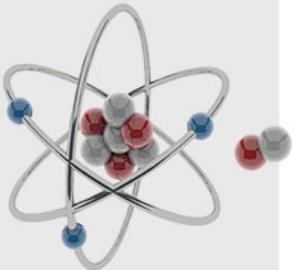
- Traitement des données radiométriques.

A. Types de Corrections :

2. Correction de l'effet Compton:

Les rayonnements  $\gamma$  de haute énergie provoquent un excès de comptage dans les canaux à plus basse énergie. Ces excès sont dus aux interactions des  $\gamma$  avec l'atmosphère et avec le détecteur, essentiellement par effet Compton, ainsi:

- Le canal Th étant l'énergie la plus élevée n'est pas affectée
- Le canal TC n'est pas facile à corriger du fait qu'il enregistre toutes radiations sans exceptions
- Le canal U est corrigé par rapport au Th
- Le canal K est corrigé quant à lui par rapport à l'U et au Th.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## A. Types de Corrections :

### 2. Correction de l'effet Compton:

Pour faire et à titre d'exemple pour le cas de l'Uranium, il est nécessaire d'estimer la contribution des  $\gamma$  de 2.62MeV dans ceux de 1.76MeV. Cette contribution est donnée sous forme de proportion (relativement linéaire):

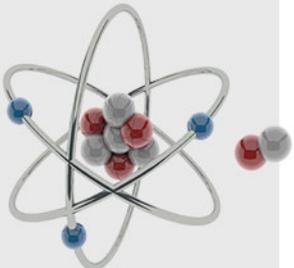
$$U_{corr} = U_{obs} - \alpha \cdot Th_{obs}$$

$$K_{corr} = K_{obs} - \beta \cdot (U_{obs} - \alpha \cdot Th_{obs}) - \gamma \cdot Th_{obs}$$

$K_{corr}; U_{corr}$ : Valeurs corrigées des canaux K et U

$K_{obs}; U_{obs}; Th_{obs}$ : Valeurs observées des trois canaux K, U et Th

$\alpha, \beta$  et  $\gamma$ : sont les coefficients de stripage (stripping parameters) qui caractérise l'influence dans un canal donné du spectre d'un élément par un autre.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

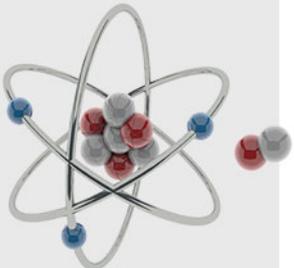
## A. Types de Corrections :

### 2. Correction de l'effet Compton:

Les coefficients de stripage sont déterminés à partir de sources standards de grandes dimensions, sous forme de dalle en béton avec une définition exacte de la proposition de chaque élément (K,U,Th).

Exemple: les dalles de calibrage (au nombre de 5) utilisés par le GSC (Geological Survey of Canada) au niveau de l'aéroport d'UPLAND à OTTAWA:

*.(7.5m × 7.5m × 0.5m) with 2.2%K; 3ppm eU; 26ppm eTh*



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## A. Types de Corrections :

### 3. Correction d'Altitude:

Ces corrections prennent en considération le fait qu'un rayonnement  $\gamma$  ayant atteint le détecteur, a été atténué par l'épaisseur d'air comprise entre la source et le détecteur (altitude de l'appareil). Ainsi c'est la loi exponentielle qui est utilisée pour retrouver l'intensité du rayonnement incident initial:

$$TC_{corr} = TC_{obs} \cdot e^{[\mu_{TC}(h-h_0)]}$$

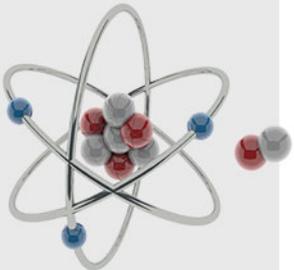
$$K_{corr} = K_{obs} \cdot e^{[\mu_K(h-h_0)]}$$

$$U_{corr} = U_{obs} \cdot e^{[\mu_U(h-h_0)]}$$

$$Th_{corr} = Th_{obs} \cdot e^{[\mu_{Th}(h-h_0)]}$$

$h$ : altitude réelle de l'appareil;  $h_0$ : altitude de référence

$\mu_{TC}$ ,  $\mu_K$ ,  $\mu_U$  et  $\mu_{Th}$ : coefficients d'absorption linéaires dans les quatre canaux



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## A. Types de Corrections :

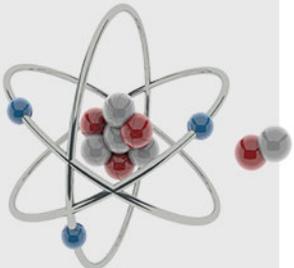
### 3. Correction d'Altitude:

Le coefficient d'absorption linéaire est une fonction de la température, la pression et de l'humidité atmosphérique locale.

Il est calculé à partir du coefficient d'absorption massique:

$$\mu[cm^{-1}] = \mu_m[cm^2 \cdot g^{-1}] \cdot \rho[g \cdot cm^{-3}]$$

Généralement, le coefficient massique  $\mu_m[cm^2 \cdot g^{-1}]$  se comporte linéairement en fonction de l'énergie des  $\gamma$  et il est donné sous forme de tableau. À partir de ces tableaux, on peut remonter jusqu'à le coefficient d'absorption linéaire  $\mu[cm^{-1}]$ .



$$\mu_{TC} = \frac{\sum_i \mu_i}{\sum i}$$

# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## B. Formule générale de correction:

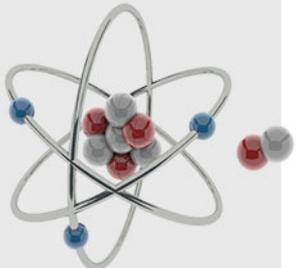
Toutes les corrections citées plus haut, peuvent être exprimées sous une formule générale qui prend en considérations les différents types de corrections (en prospection aéroportée):

$$TC_f = (TC_{obs} - BF_{TC}). e^{\mu_{TC} \cdot (h-h_0)}$$

$$Th_f = (Th_{obs} - BF_{Th}). e^{\mu_{Th} \cdot (h-h_0)}$$

$$U_f = [(U_{obs} - BF_U) - \alpha(Th_{obs} - BF_{Th})]. e^{\mu_U \cdot (h-h_0)}$$

$$K_f = [K_{SBF} - \beta(U_{SBF} - \alpha Th_{SBF}) - \gamma Th_{SBF}]. e^{\mu_K \cdot (h-h_0)}$$



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

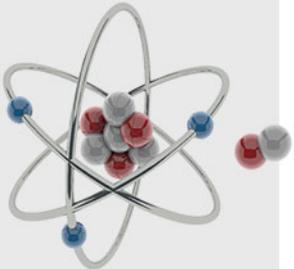
- **Traitement des données radiométriques.**

## C. Calcul des rapports spectrométriques:

C'est un calcul qui permet de connaître la tendance des zones prospectées et d'identifier les anomalies (excès ou de défaut):

$$U/K^{40}; U/Th; Th/K^{40}$$

Ces rapport spectrométriques jouent un rôle primordial dans l'interprétation qualitative. Ils offrent en effet, des informations sur la distribution du minerai radioactif dans les différents faciès de la région étudiée.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## D. Calcul des concentrations:

C'est un calcul qui permet de retrouver à titre approximatif et indicatif la concentration de l'élément radioactif dans le minerai qui constitue la région ou la zone d'étude.

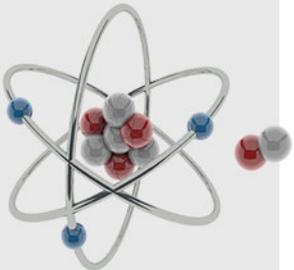
On utilise la formule suivante pour retrouver l'équivalent en élément radioactif (DARNLEY, 1972):

$$eTh[ppm] = \frac{Th_{corr}}{\mu_{Th} \cdot V} = k_1 \times Th_{corr}$$

$$eU[ppm] = \frac{U_{corr}}{\mu_U \cdot V} = k_2 \times U_{corr}$$

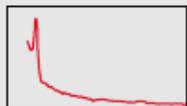
$$K[\%] = \frac{K_{corr}}{\mu_K \cdot V} = k_3 \times K_{corr}$$

Avec  $K_1, K_2, K_3$ : Constantes de conversion des trois canaux.



## Data acquisition

Cosmic



Aircraft



Atmospheric Rn



K



U



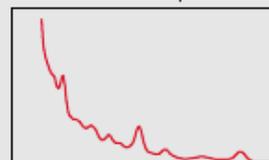
Th



Scattering within  
source & atmosphere

Instrument  
response

Recorded spectra



## Data reduction

Remove instrument  
effects (partly)

Remove random noise by  
spectral smoothing (NASVD, MNF)

Remove aircraft &  
cosmic background

Remove atmospheric  
Rn background

Correct for channel interaction

Correct for height-related scattering

Convert to ground concentrations of K, U & Th

Unknown quantities of K, U & Th in the ground

Estimated quantities of K, U & Th in the ground

# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

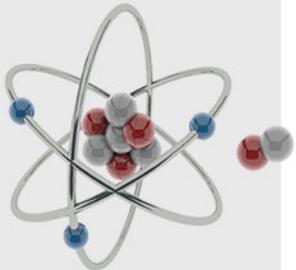
- Traitement des données radiométriques.

## E. Application 1:

Les enregistrements (en coups par minute) d'un scintillomètre lors d'une prospection radionucléaire, ont été effectués sur 8 profils (d=8m) et chaque profil contient 12 stations (d'=8m).

- Reportez les points de mesure sur une carte (mode contour)
- Estimez l'étendue de la zone d'anomalie.
- Dites s'il y a des indications sur l'épaisseur du mort-terrain dans cette zone?

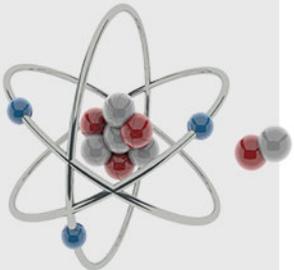
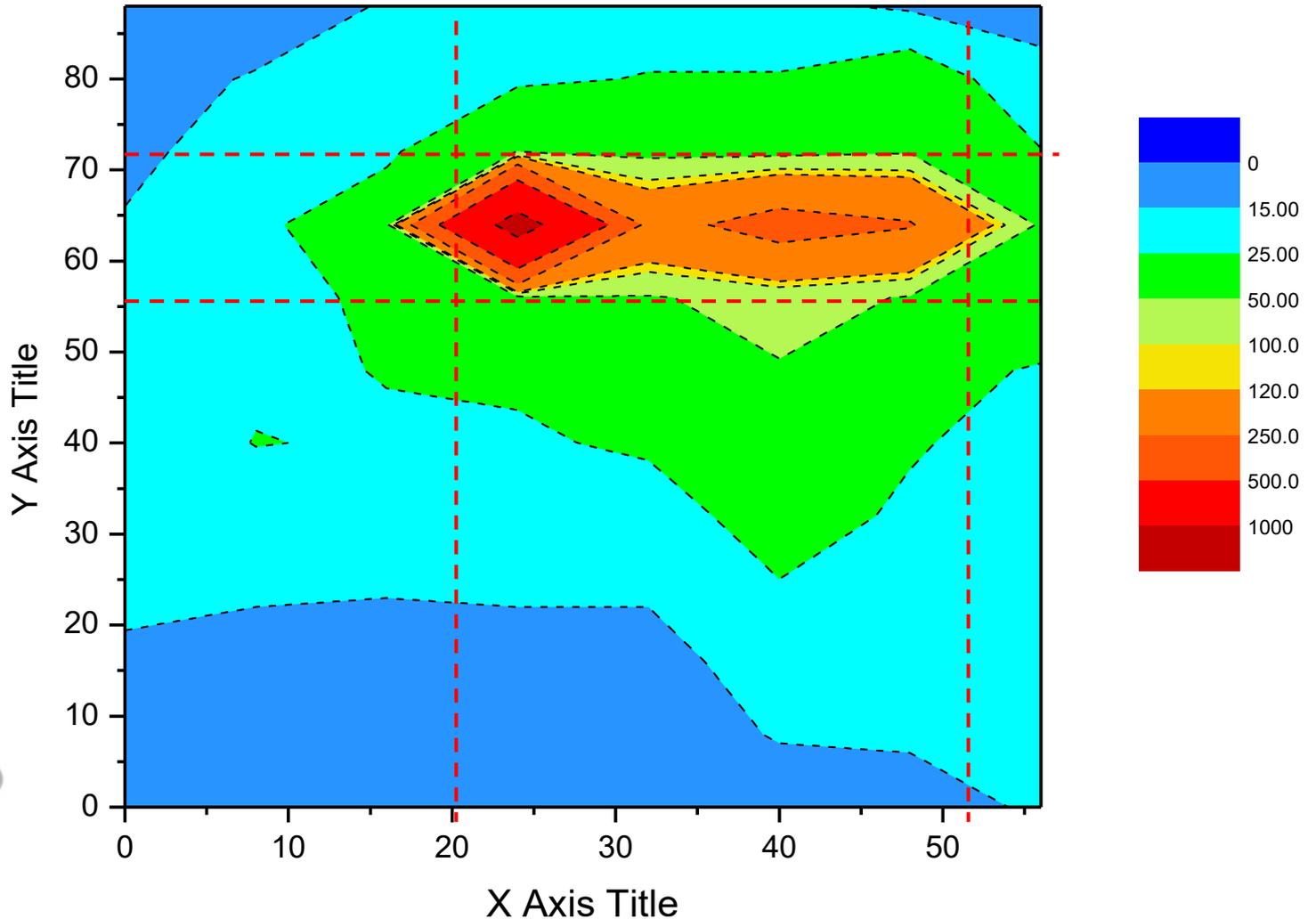
Station	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
1	11	11	11	12	11	12	14	15
2	12	12	11	12	12	15	15	17
3	14	14	12	14	14	17	17	17
4	17	15	15	15	15	24	17	17
5	19	18	18	18	17	34	22	16
6	16	25	24	23	28	47	27	18
7	17	23	25	28	34	47	30	24
8	16	17	30	36	46	66	47	38
9	15	22	36	1200	200	310	260	40
10	14	18	22	50	35	35	46	25
11	13	15	18	22	26	26	33	17
12	12	12	15	18	17	17	14	13



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

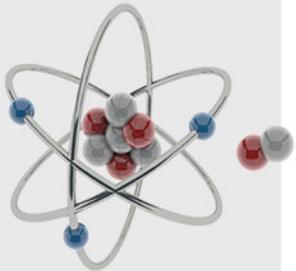
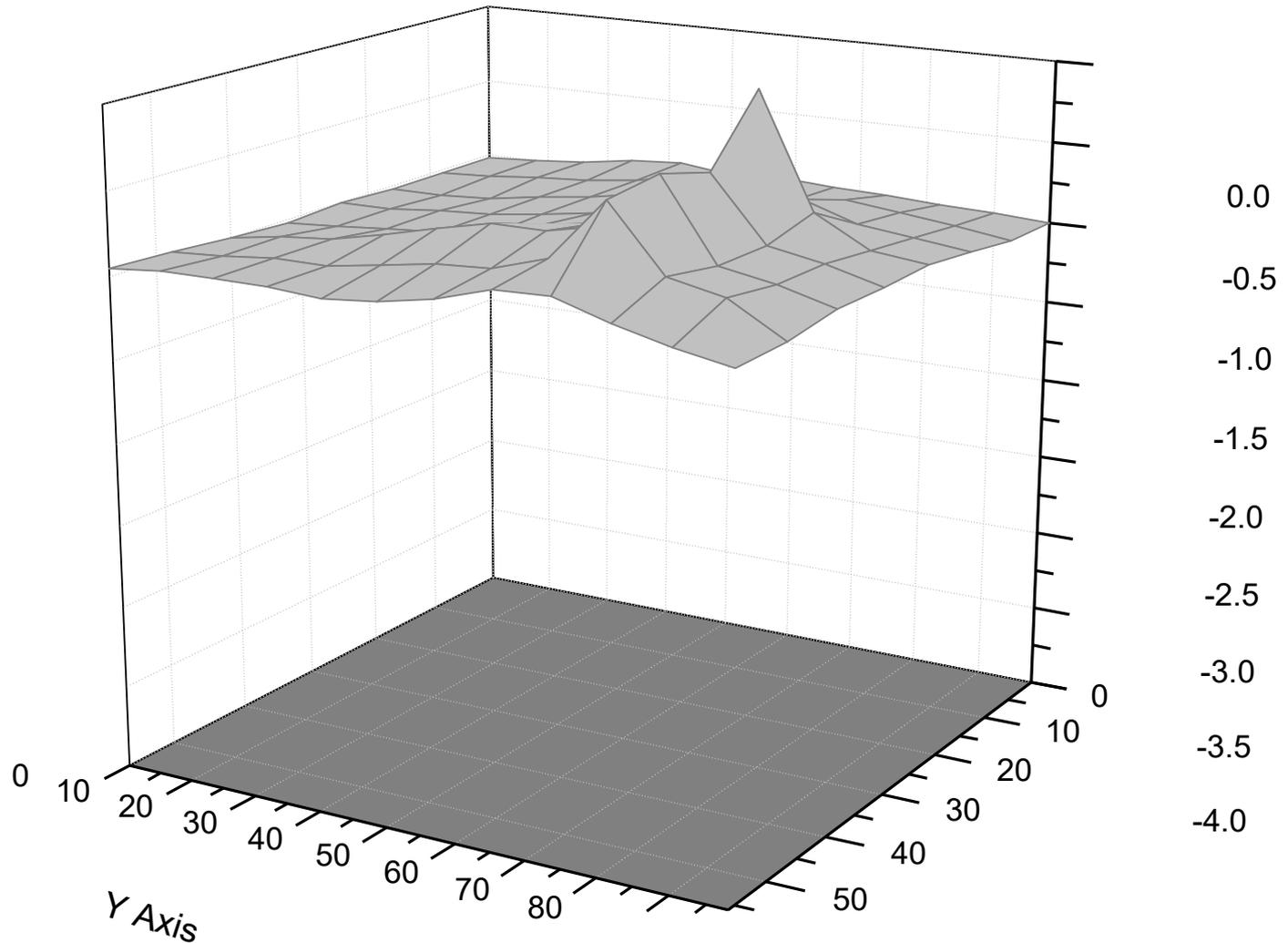
## E. Application 1:



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## E. Application 1:



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

## E. Application 2:

Sur un profile de 150m, les enregistrements (en coups par minute) de 10 station (d=15m) d'un spectromètre à 3 canaux (U-K-Th) a permis d'avoir le comptage après correction du BF. En donnant les coefficient de stripage et le facteur de sensibilité pour chaque canal. On supposera qu'il n'y a pas de correction d'altitude (prospection pédestre)

- Retrouver les concentrations en ppm pour eU et eTh, en % pour K
- Tracer les profiles eU, eTh et K.
- Tracer les rapports de concentrations eU/K; eTh/K et eU/eTh

Station(m)	Th <sub>SBF</sub>	U <sub>SBF</sub>	K <sub>SBF</sub>
0	13	28	195
30.5	8	27	243
52	22	34	265
61	25	36	218
64	18	30	135
70	10	24	223
91.5	15	27	193
122	15	30	197
130	12	20	242
152.5	6	21	233

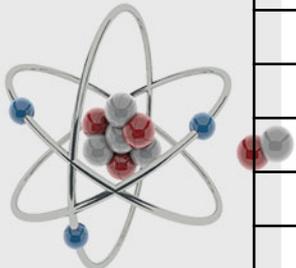
$$\alpha = 1.0; \beta = 1.5; \gamma = 1.7$$

$$k_1 = 0.6; k_2 = 0.13; k_3 = 0.02$$

$$eTh[ppm] = k_1 \times Th_{Corr} \left[ \frac{cps}{m} \right]$$

$$eU[ppm] = k_2 \times (U_{SBF} - \alpha Th_{SBF}) \left[ \frac{cps}{m} \right]$$

$$K[\%] = k_3 \times (K_{SBF} - \beta(U_{SBF} - \alpha Th_{SBF}) - \gamma Th_{SBF}) \left[ \frac{cps}{m} \right]$$



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

## - Traitement des données radiométriques.

### E. Application 2:

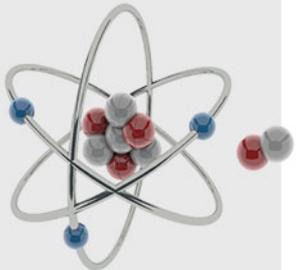
$$\alpha = 1.0; \beta = 1.5; \gamma = 1.7$$

$$Th_{corr} = (Th_{SBF}) \rightarrow eTh[ppm] = Th_{corr} \times k_1 \quad k_1 = 0.6; k_2 = 0.13; k_3 = 0.02$$

$$U_{corr} = [(U_{SBF}) - \alpha(Th_{SBF})] \rightarrow eU[ppm] = U_{corr} \times k_2$$

$$K_{corr} = [(K_{SBF}) - \beta(U_{SBF} - \alpha(Th_{SBF})) - \gamma(Th_{SBF})] \rightarrow K[\%] = K_{corr} \times k_3$$

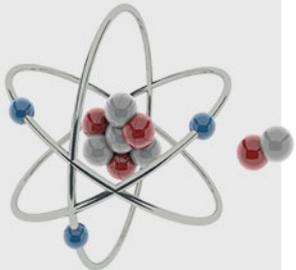
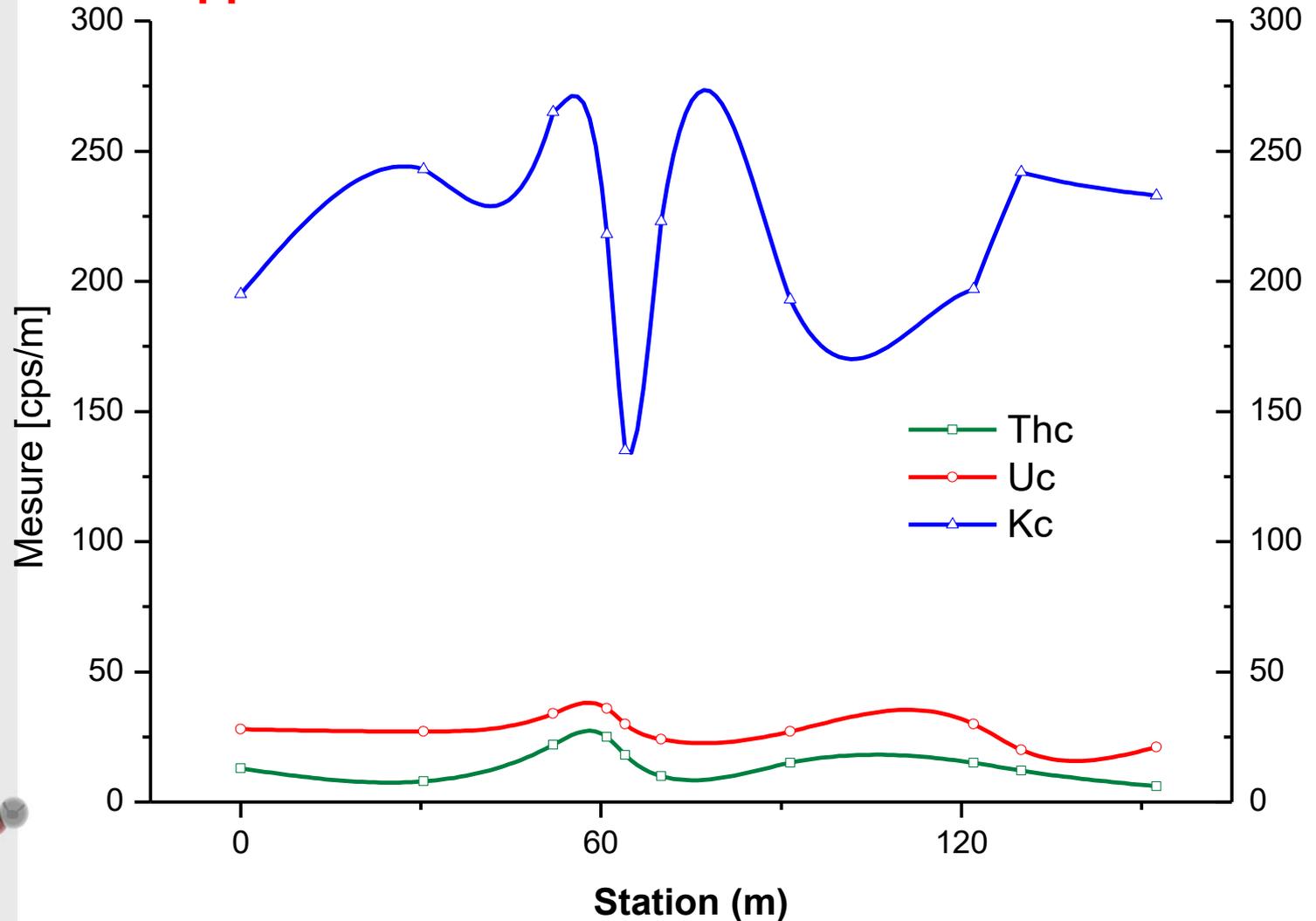
Station	$Th_{SBF}$	$U_{SBF}$	$K_{SBF}$	$eTh[ppm]$	$eU[ppm]$	$K[\%]$	$eU/K$	$eTh/eU$	$eTh/K$
1	13	28	195	7.80	1.95	3.008	0.648	4.00	2.59
2	8	27	243	4.80	2.47	4.018	0.615	1.94	1.19
3	22	34	265	13.20	1.56	4.192	0.372	8.46	3.15
4	25	36	218	15.00	1.43	3.180	0.450	10.49	4.72
5	18	30	135	10.80	1.56	1.728	0.903	6.92	6.25
6	10	24	223	6.00	1.82	3.700	0.492	3.30	1.62
7	15	27	193	9.00	1.56	2.990	0.522	5.77	3.01
8	15	30	197	9.00	1.95	2.980	0.654	4.62	3.02
9	12	20	242	7.20	1.04	4.192	0.248	6.92	1.72
10	6	21	233	3.60	1.95	4.006	0.487	1.85	0.90



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

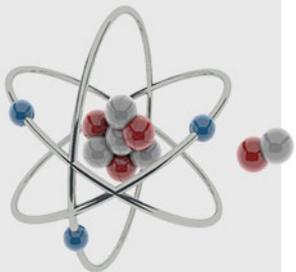
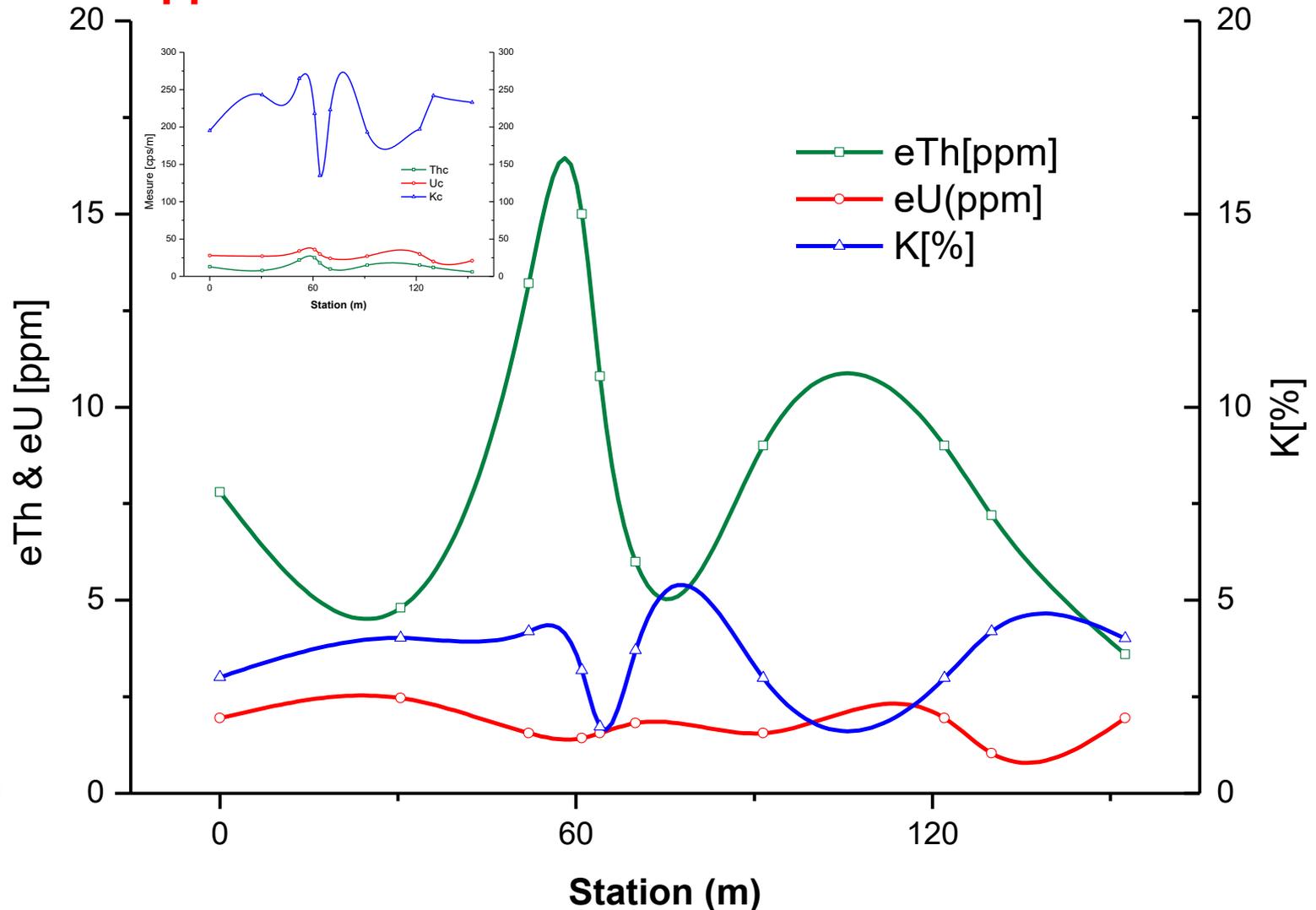
## E. Application 2:



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

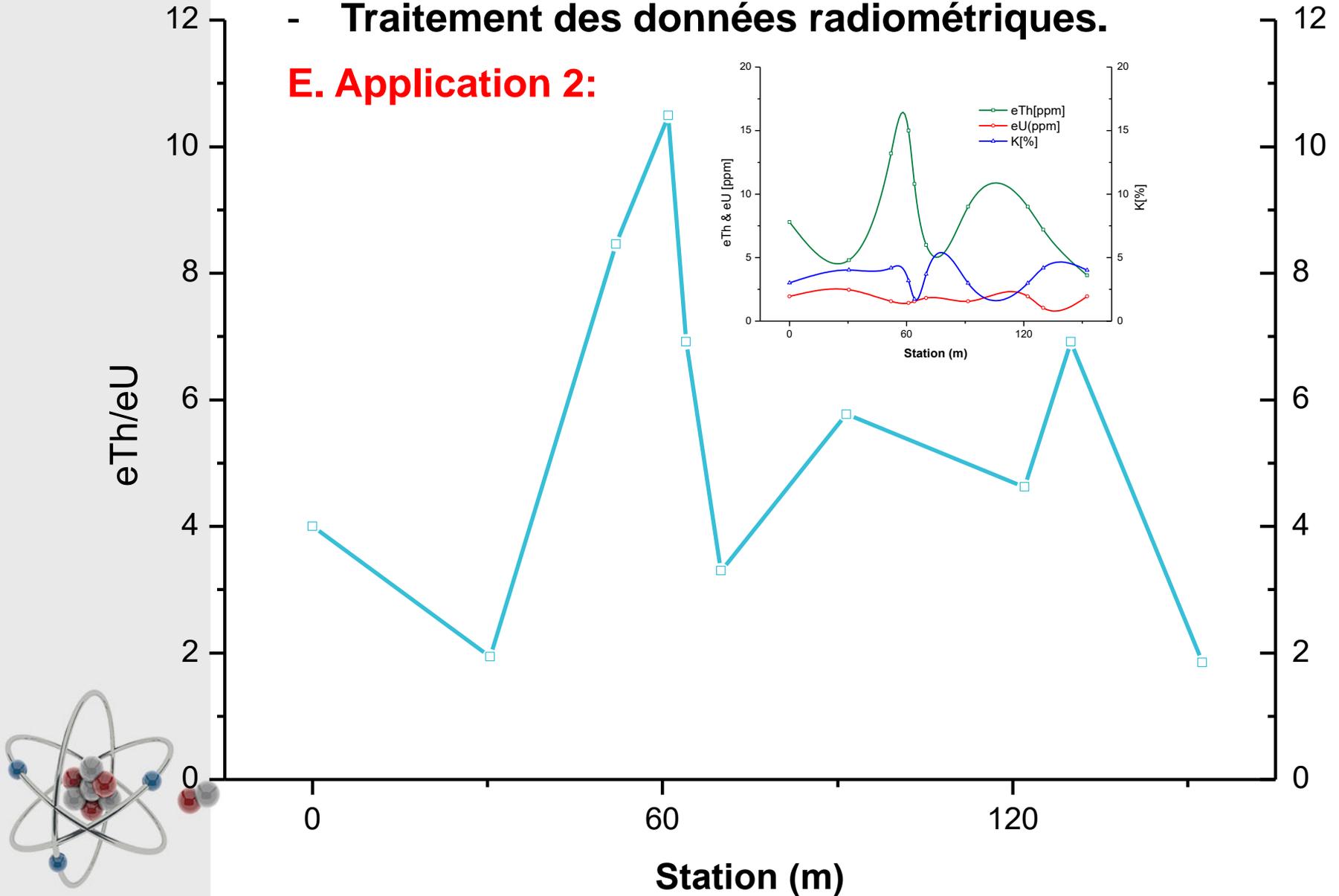
## E. Application 2:



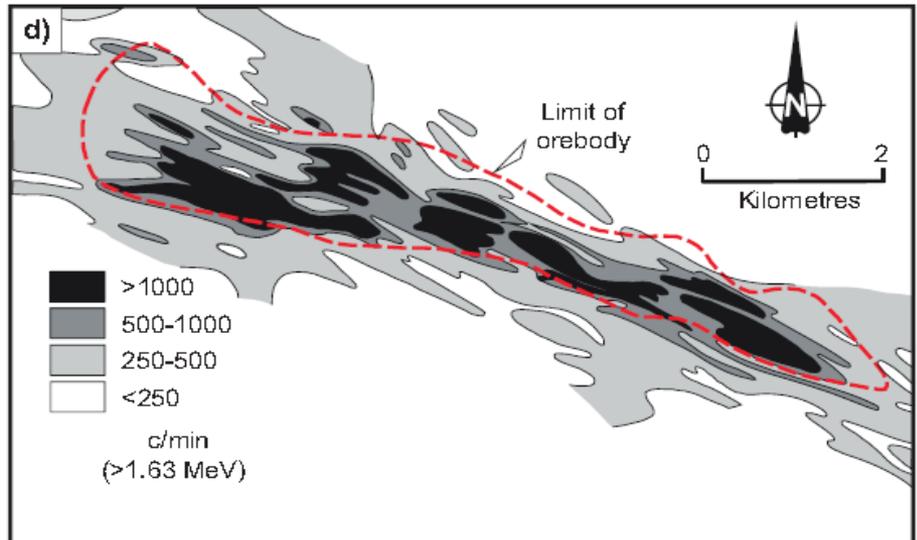
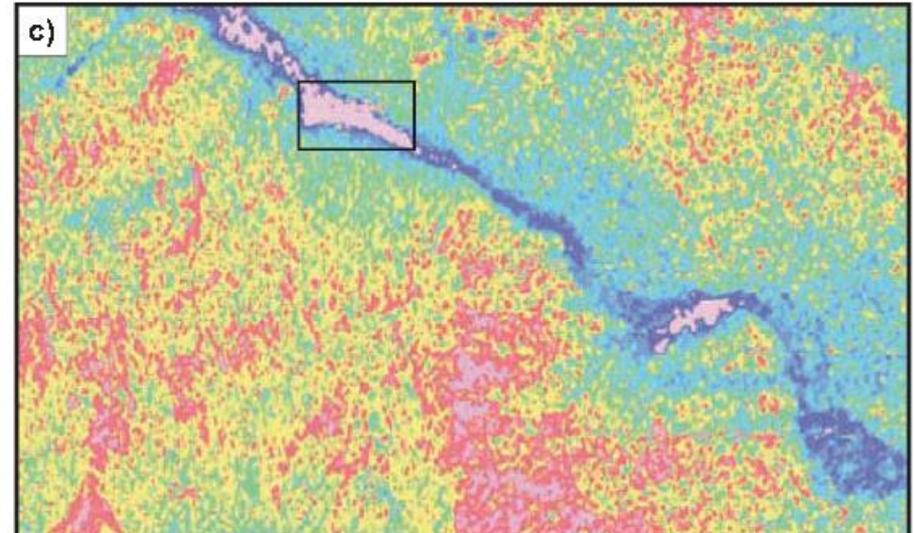
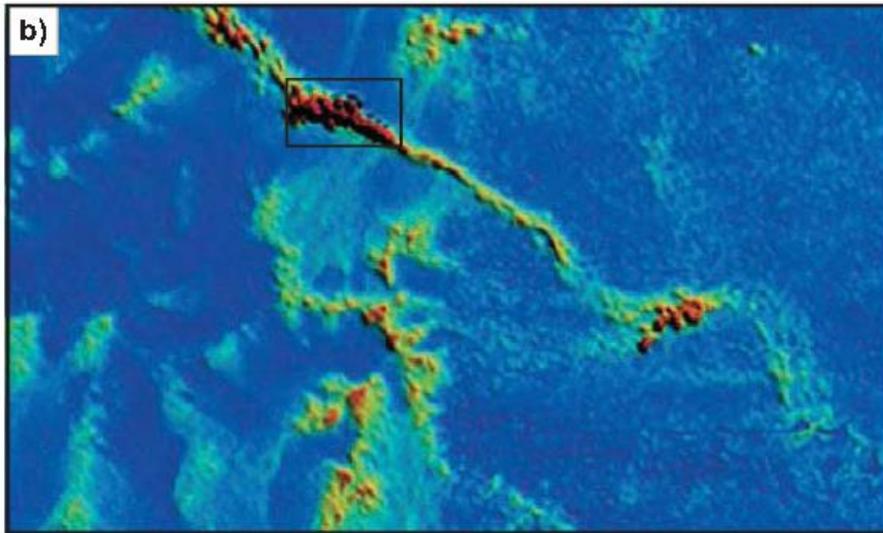
# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Traitement des données radiométriques.

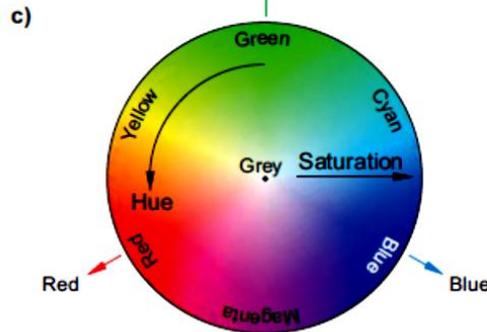
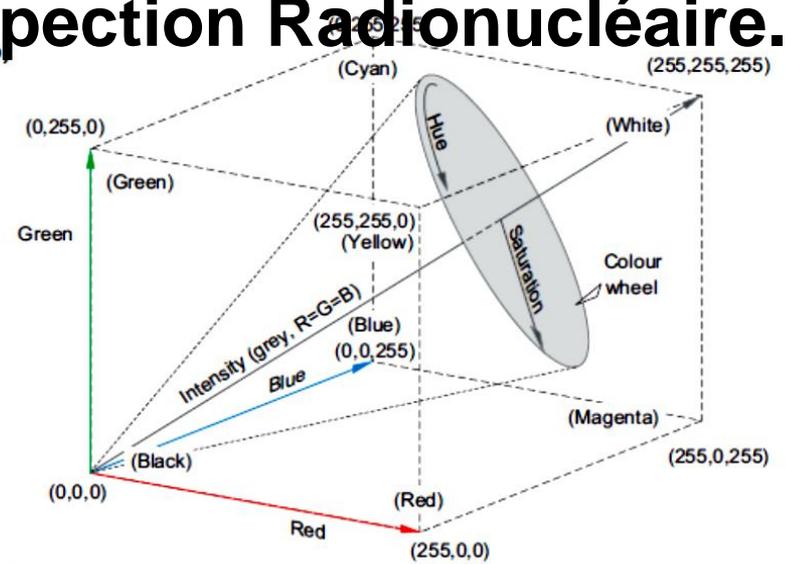
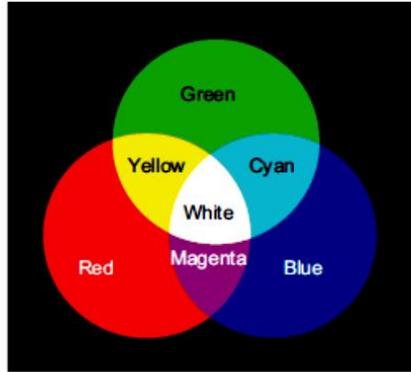
## E. Application 2:



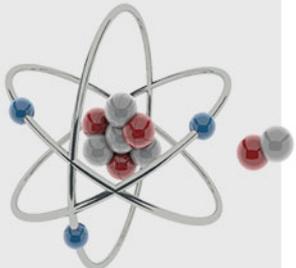
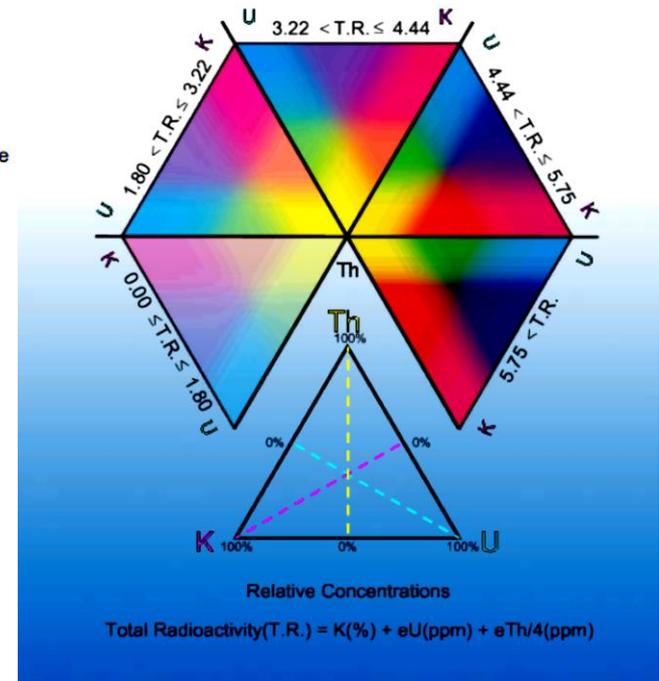
# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

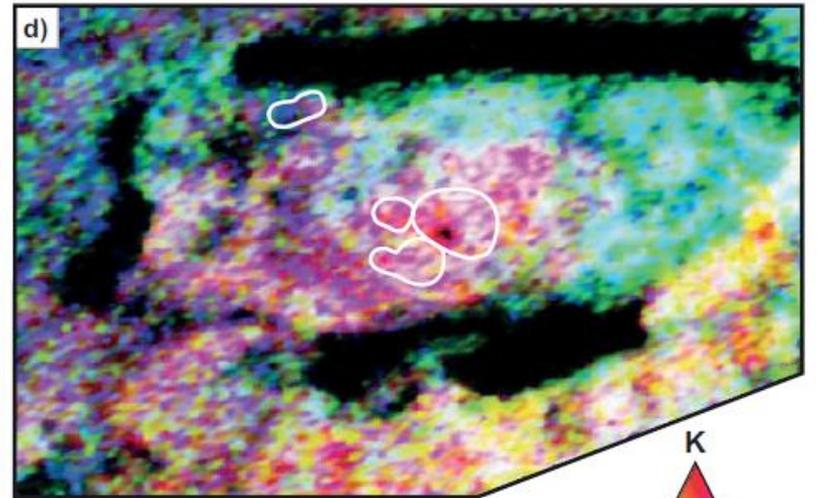
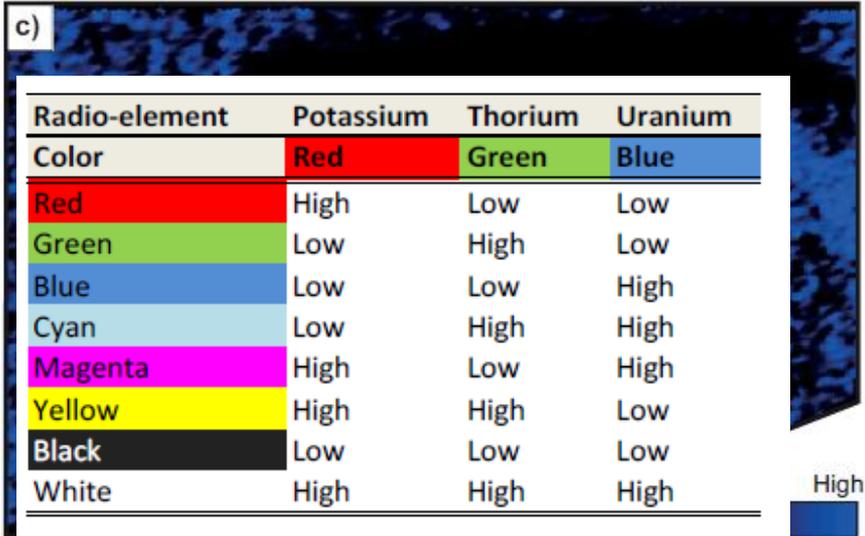
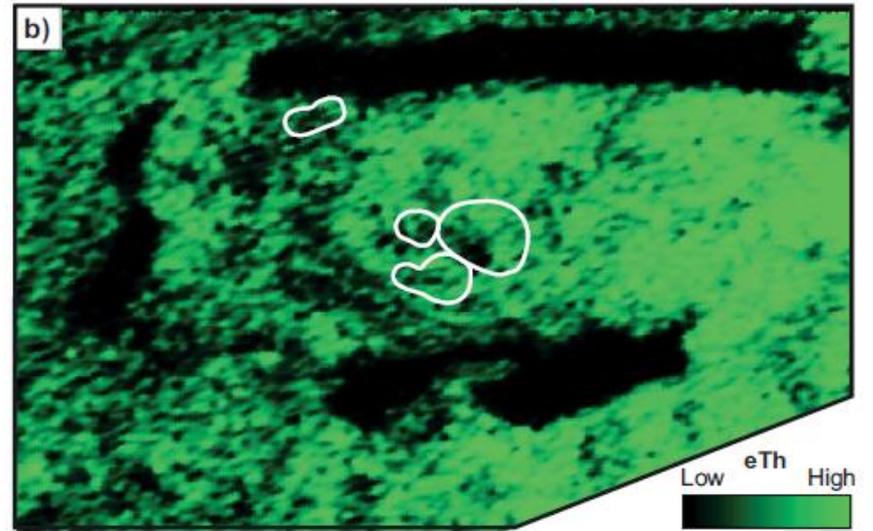
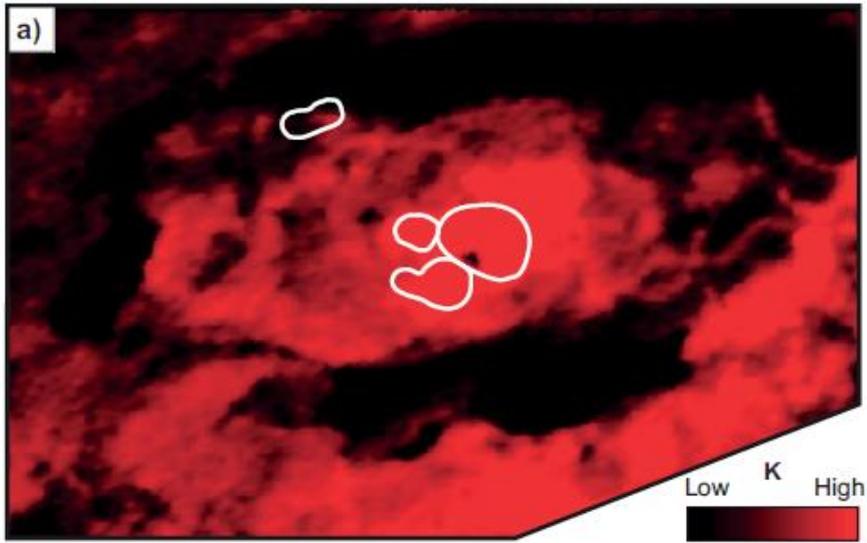


# IV, Recherche & Prospection Radionucléaire.

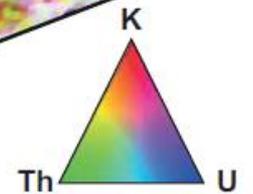


Radio-element	Potassium	Thorium	Uranium
Color	Red	Green	Blue
Red	High	Low	Low
Green	Low	High	Low
Blue	Low	Low	High
Cyan	Low	High	High
Magenta	High	Low	High
Yellow	High	High	Low
Black	Low	Low	Low
White	High	High	High





0 2  
Kilometres



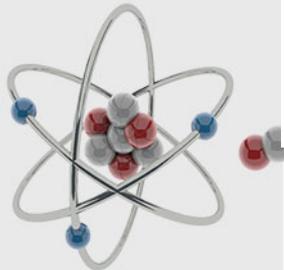
# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

## - Interprétation des données radiométriques.

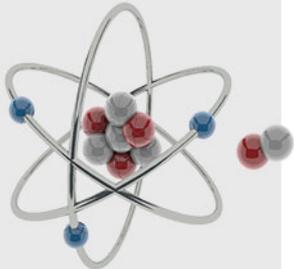
TABLE III

Average Th-, U- and K-contents of a variety of rock types. All concentrations are in p.p.m. of the metal.

Rock-type	Th	U	K · 10 <sup>-4</sup>	Th/U	K/U · 10 <sup>-4</sup>
Granite (including all quartz-bearing, plutonic igneous rocks)	12	3	3	4	1
Basalt submarine tholeiite	0.2	0.1	0.1-0.2	2	1-2
continental tholeiite	2	0.5-1	0.5-1	3-4	1
Shale (mainly epicontinental)	12	3	3	4	1
Quartz sandstone	2	0.5	1	3.5-4	2
Graywacke					
Umpqua (Oregon)	2.8	1.3	0.96	2-3	~ 1
Tyee (Oregon)	9.3	2.6	2.0	3-4	~ 1
Caribbean	1-2	0.5-1	-	2	-
Franciscan (California)	7	2	1.3	3.6	~ 0.5



© J.J.W. Rogers, K.C. Condie & S. Mahan, "SIGNIFICANCE OF THORIUM, URANIUM AND POTASSIUM IN SOME EARLY PRECAMBRIAN GRAYWACKES FROM WYOMING AND MINNESOTA", *Chem. Geol.* 5, 1969/1970.



## IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

### - Interprétation des données radiométriques.

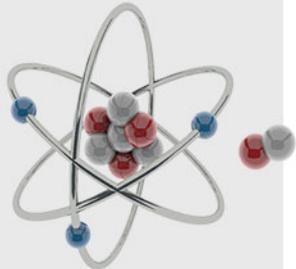
1. The distribution of thorium and uranium in sedimentary rocks is largely determined by (a) the oxidation and leaching of uranium during weathering, with the immobile thorium left behind in resistates or adsorbed on clays and hydrolyzates, and (b) the distribution of resistate minerals containing a high concentration of thorium and uranium.

2. Products of the high Th/U-ratio (more than about 7) environment are materials that are thoroughly weathered, oxidized, and leached, e.g., certain continental shales and bauxites.

3. Products of the low Th/U-ratio (less than about 2) environment have resulted where uranium was removed from sea or other surface waters and fixed, e.g., marine black shales (Chattanooga shale), limestones, and Florida phosphate rock.

4. Products of the intermediate Th/U-ratio (about 2 to about 7) are incompletely weathered and leached of uranium or are mixtures of materials from low- and high-ratio environments.

5. The general distribution of thorium and uranium in sedimentary rocks is summarized in Figure 18, where primary igneous rocks with a Th/U ratio of 3 to 4 and thorium contents of 10 to 15 ppm are fractionated upon complete



## IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

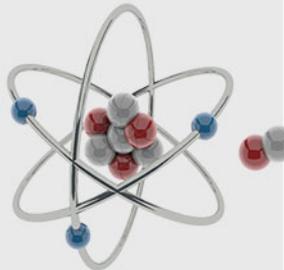
### - Interprétation des données radiométriques.

weathering in three directions: (a) to sea water with a very low Th/U ratio (0.0002), (b) to hydrolyzates and oxidized clays with high Th/U ratios and high thorium contents, and (c) to resistate minerals with high Th/U ratios and high thorium contents.

6. Th/U-ratio logs offer numerous possibilities as aids to subsurface interpretations, particularly in regard to the location of unconformities under which there are well weathered fossil soils, in distinguishing between marine and continental shales, possibly in recognizing porous zones, dolomitized zones, and high-residue zones in limestones, and in characterizing sedimentary sections for correlation.

7. The data and conclusions presented have been and should continue to be of great assistance in interpreting total gamma-ray logs and in interpreting gamma-ray logs that separate the thorium, uranium, and potassium contributions to the gamma-ray flux.

© J.A.S. Adams, C.E. Weavers, " Thorium-to-Uranium ratios as indicators of sedimentary processes: Example of concept of geochemical facies", Bull. Ame. Ass. Petrol. Geol. 42(2) 1958.



# IV. Recherche & Prospection Radionucléaire.

- Interprétation des données radiométriques.

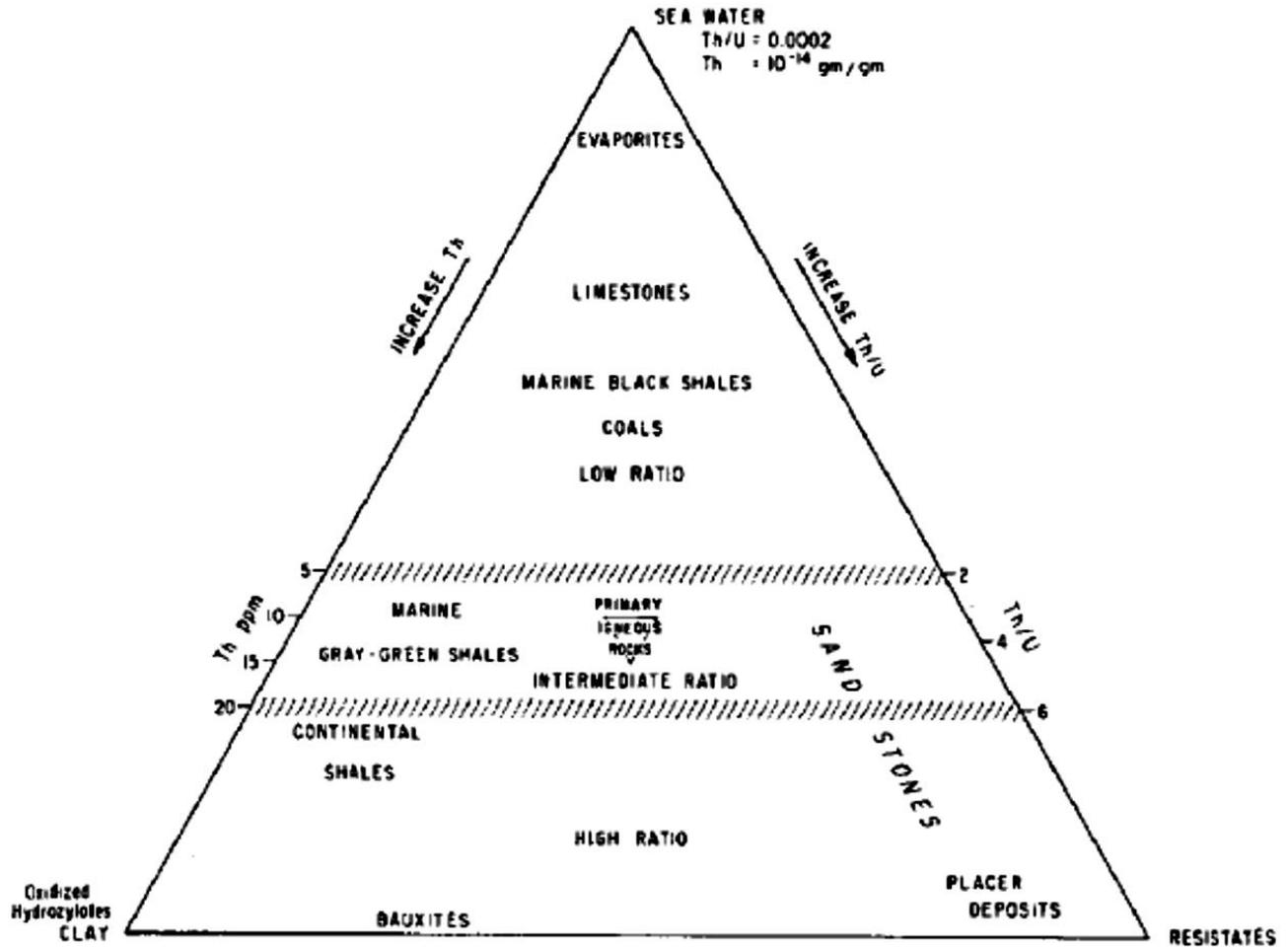


FIG. 18.—Distribution of thorium and uranium in sediments.

**The End**

