

Estimation des facteurs de
conversion pour la mesure du débit
d'équivalent de dose ambient
 $H^*(10)$ par spectrométrie in situ

Jean-Pascal Laedermann

23 avril 2004

Menu

- ⬡ Problématique
- ⬡ Traitement Monte-Carlo
- ⬡ Résultats
- ⬡ Conclusion

Problématique *In Situ*

- Estimation de la dose reçue sur un terrain contaminé
- Dose : $H^*(10)$
- Terrain contaminé en surface ou en profondeur
- But :
 - évaluation de l'activité du terrain
 - étalonnage in situ de détecteurs
 - relation activité – débit de dose

H*(10)

- ⬡ Champ de rayonnement
- ⬡ Sphère ICRU
 - 30 cm de diamètre
 - ca épaisseur d'un corps
 - équivalent tissu humain
- ⬡ H*(10) : équivalent de dose
 - dose à 10 mm de profondeur
 - $$\text{Sv} / \text{s} = f * \text{Gy} / \text{s} = \text{j} / \text{kg} / \text{s}$$

Terrain contaminé

⬡ Modèles de contamination

demi-espace sous le plan $z = 0$

surfactive : Bq / m^2

volumique (uniforme) : Bq / m^3

exponentiel : $A = A_0 \exp(-z/(\beta/\rho))$

⬡ Mesure

sphère ICRU à 1 m au-dessus du sol

Dimensions du système

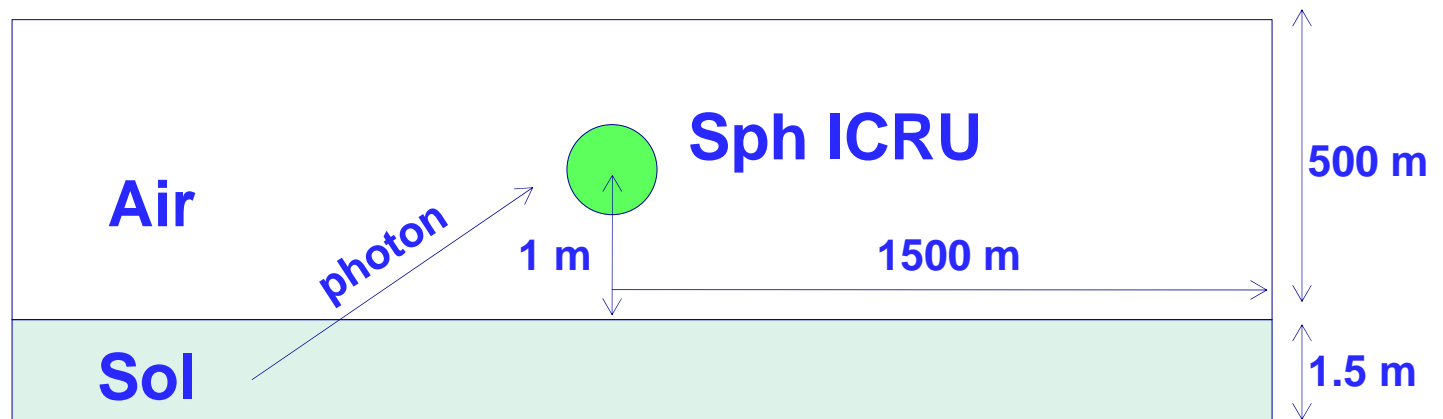
⬡ Cylindres

$$R_{\max} = 1500 \text{ m}$$

$$H_{\text{air}} = 500 \text{ m}$$

$$P_{\text{sol}} = 1.5 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{sol}} = 1 \rightarrow 2 \text{ g / cm}^3$$



Calcul

⬡ Théorique

possible sans le diffusé (sky shine)

donne des ordres de grandeur

⬡ Monte Carlo

impossible de manière brute

paradoxe l'Olbers : grands R nécessaires

photon isotrope à 500 m de ICRU :

$$p = 1 / 44e6, \text{ sans atténuation !}$$

Calcul

⬡ Théorique

possible sans le diffusé (sky shine)

donne des ordres de grandeur

⬡ Monte Carlo

impossible de manière brute

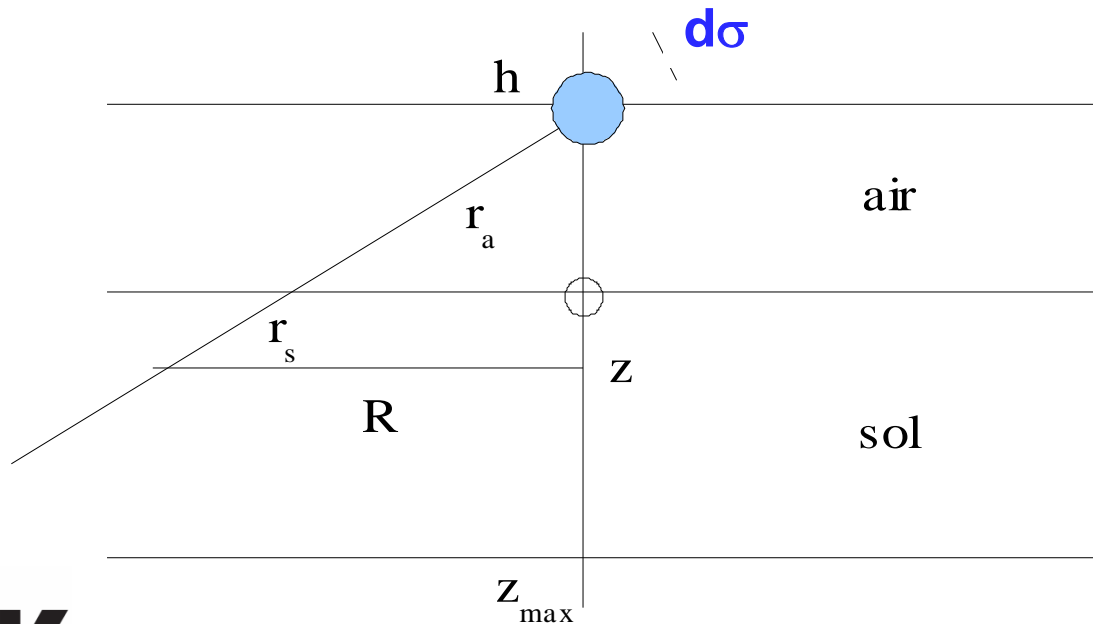
paradoxe l'Olbers : grands R nécessaires

photon isotrope à 500 m de ICRU :

$$p = 1 / 44e6, \text{ sans atténuation !}$$

Fluence in situ et Monte Carlo

$$\dot{\Phi} d\sigma = \int_{z,R} A_v \rho_s dz \frac{d\sigma}{4\pi(r_s+r_a)^2} e^{-\mu_s r_s - \mu_a r_a} 2\pi R dR$$
$$\dot{\Phi} = \int_{z,R} A_v \rho_s dz \frac{R dR}{2(r_s+r_a)^2} e^{-\mu_s r_s - \mu_a r_a}$$



Intractable

Inversion du problème

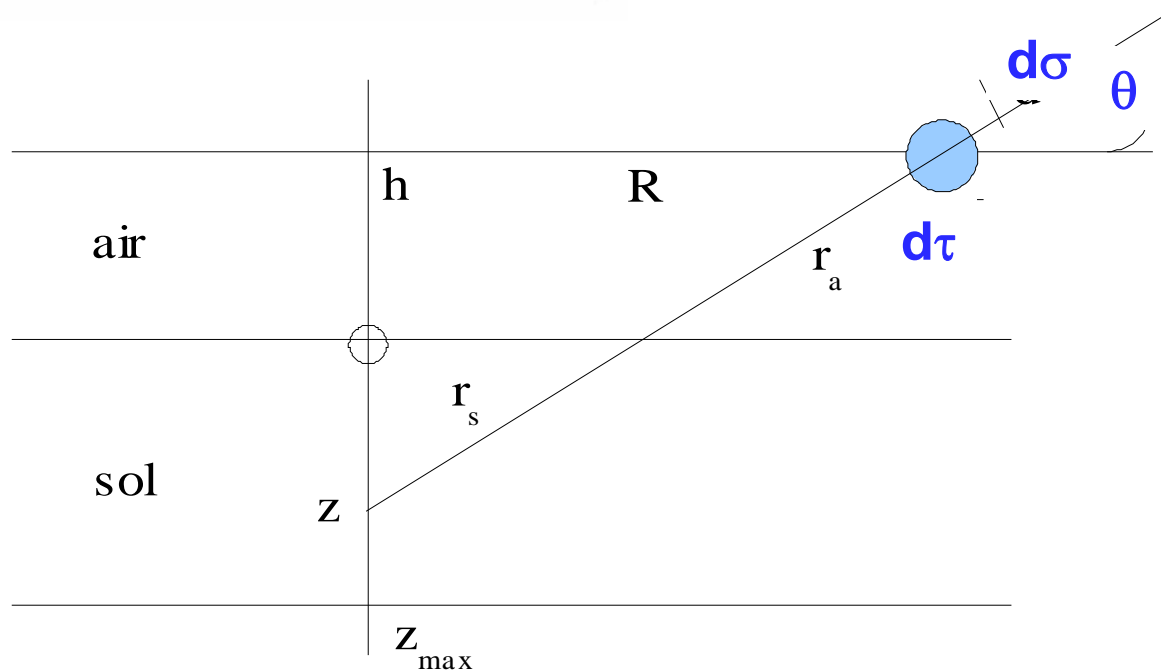
$$\dot{N}_h = \int_{\sigma, z} \frac{d\sigma}{4\pi(r_s + r_a)^2} e^{-\mu_s r_s - \mu_a r_a} A_l dz$$

$$d\sigma = d\tau \sin\theta = R d\varphi dR$$

$$\dot{N}_h = \int_{R, z} \frac{R dR \sin\theta}{2(r_s + r_a)^2} e^{-\mu_s r_s - \mu_a r_a} A_l dz$$

- *Elements de surface*

- $d\sigma$ sphère
- $d\tau$ plan
- θ angle gamma-plan



Application au Monte Carlo

⬡ Au coefficient de pondération $\sin \theta$, les intégrales du modèle original et inversé sont les mêmes

Invariance par translation horizontale :
inversion s'applique aussi au diffusé

⬡ Monte Carlo pondéré

gain énorme de temps de calcul

M. Lemerrier*, R. Gurriaran, P. Bouisset, X. Cagnat

Specific activity to $H^*(10)$ conversion factors for in situ gamma spectrometry

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Laboratoire de Mesure de la Radioactivité de l'Environnement, Bât. 501, Bois de Rames, 91400 Orsay, France

Calcul du $H^*(10)$ en deux étapes

- ⬡ Memorisation des énergies et $\sin \theta$ des photons traversant le plan $z = 1$ m dans un *espace de phases*

$$E = 10 \text{ keV} \rightarrow 3 \text{ MeV}$$

- ⬡ Reprise des photons depuis cet espace de phases vers la sphère ICRU,
ou un autre type de détecteur

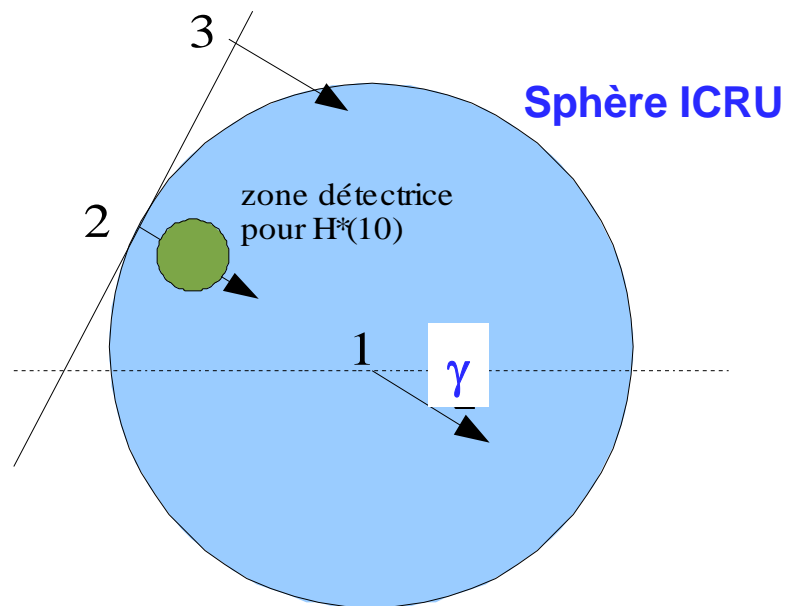
Deuxième étape

⬡ 1. Photon de l'espace de phase

2. Alignement

3. Extension

Sphères russes détectrices à 10 mm



Remarques

Approximation

fluence relativement constante autour de $h=1\text{m}$

15 cm ICRU donne ca 3% var

hypothèse d'invariance de l'activité par translation horizontale

Zone de détection MC

assez grande pour avoir une bonne stat

assez petit pour estimer $H^*(10)$ (ponctuel)

Codes MC utilisés

⬡ Lemercier : Geant 3

IRA : Geant 4

⬡ Avantages de Geant 4

meilleur traitement de l'ionisation (air)

seuils plus bas possibles

structuration C++ (?)

⬡ Temps de calcul

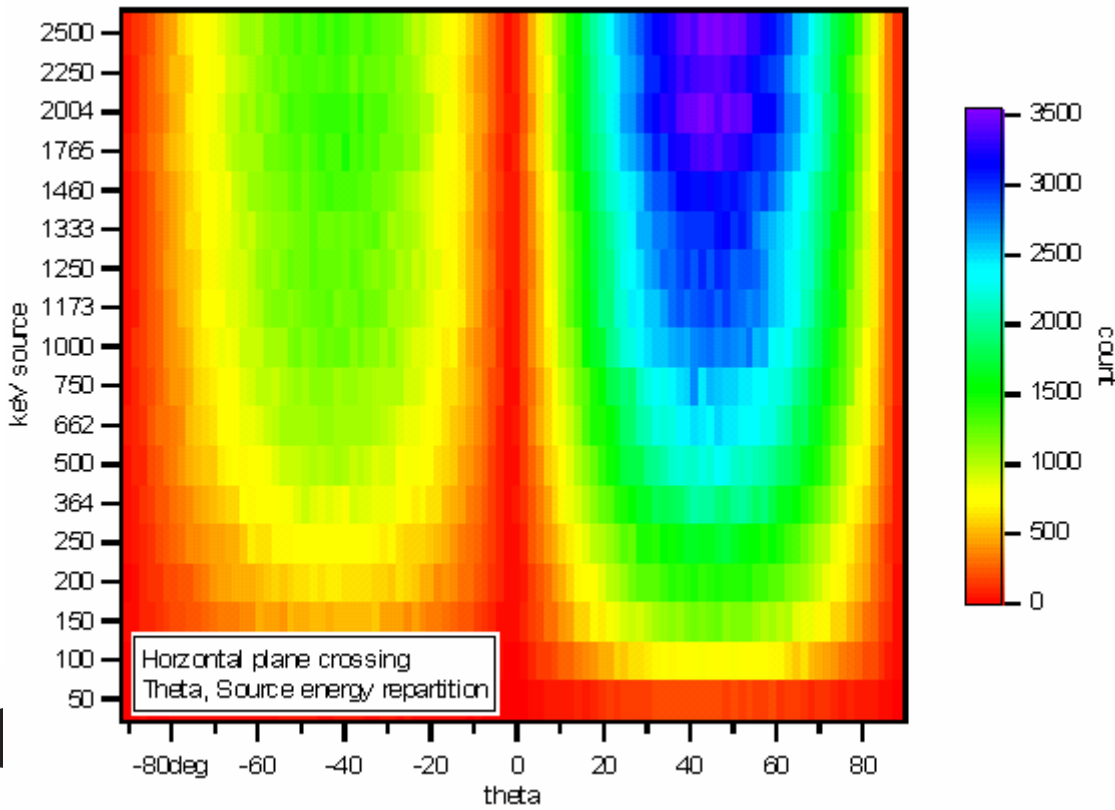
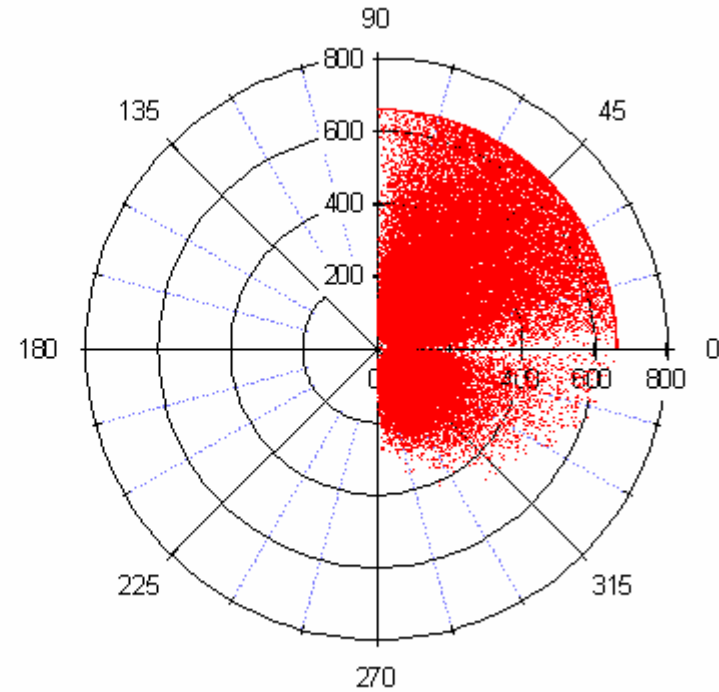
plusieurs semaines

cluster de 24 processeurs

Résultat première étape

⬡ 662 keV
sky-shine
important

Radiant energies and
crossing angles repartition
 $E_{\text{src}} = 662 \text{ keV}$



Résultats seconde étape

⬡ Photons mono-énergétiques

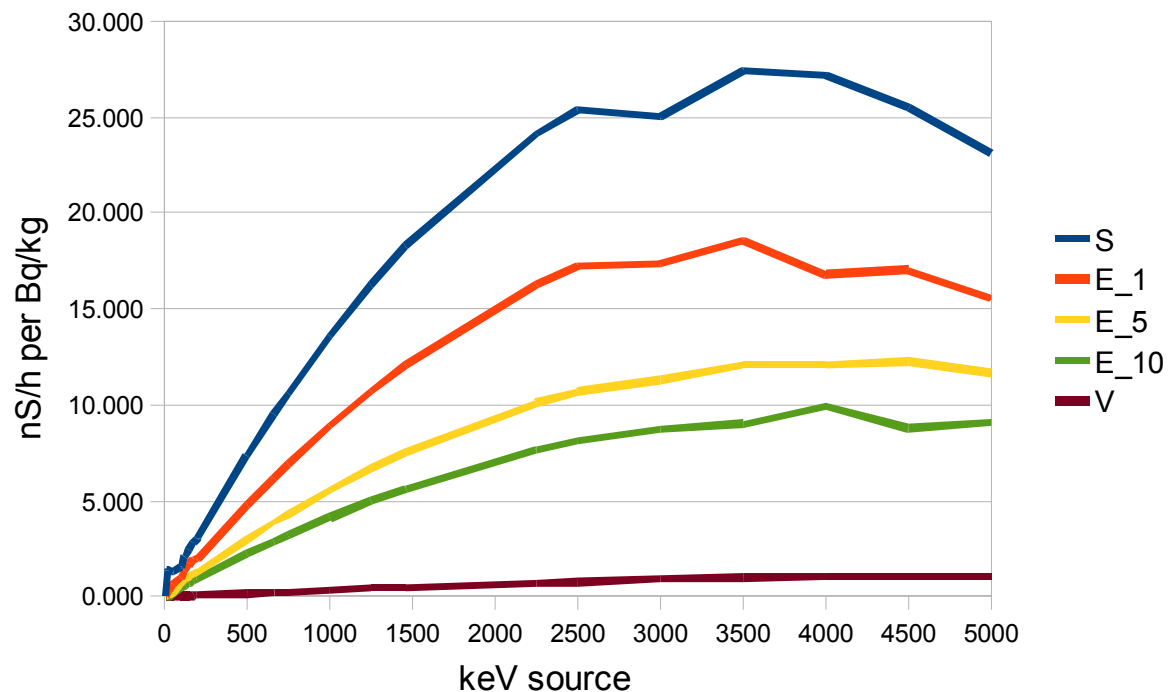
Quasi linéaire jusqu'à 1500 keV

Quadratique jusqu'à 3000 keV

Fléchissement à partir de 4000 keV

Max 5% d'écart avec les valeurs Lemercier entre 100 et 2000 keV

$h^*(10)$ in situ

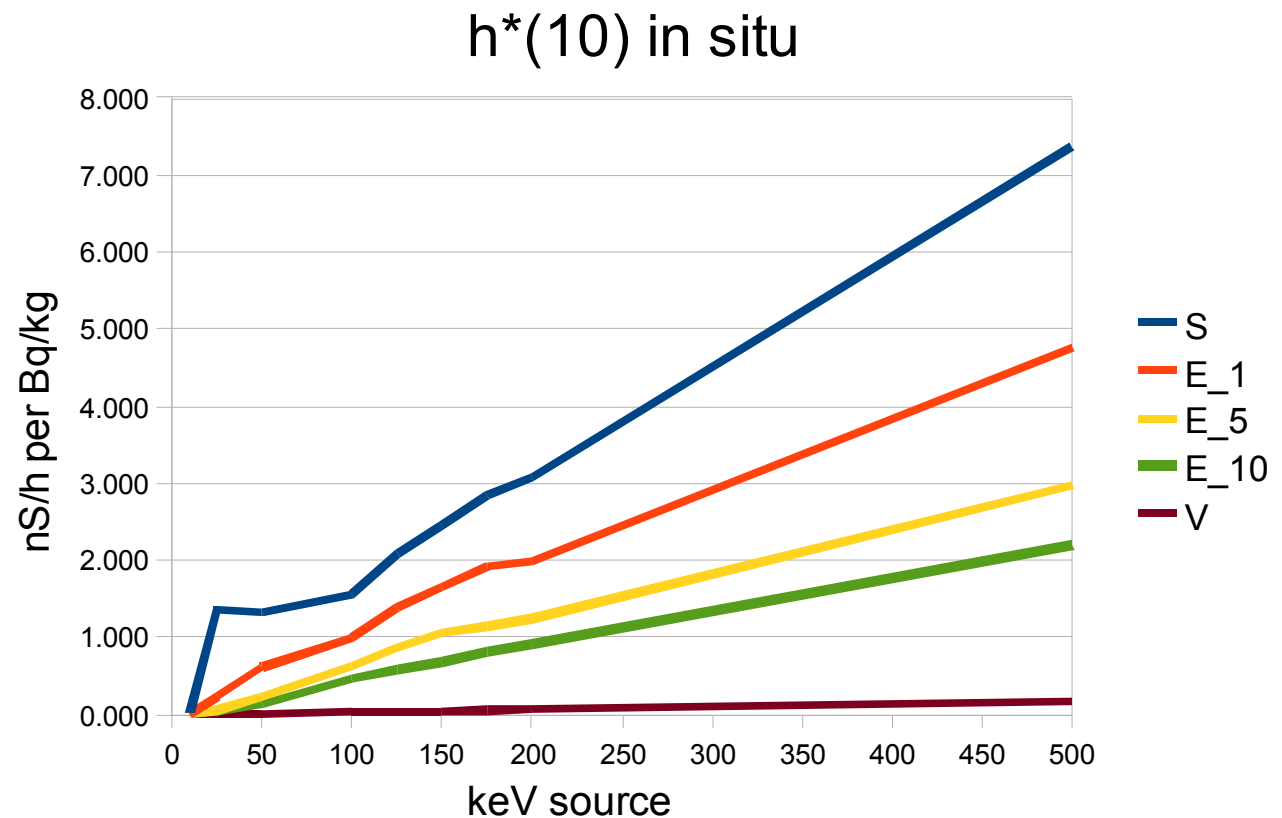


Résultats seconde étape

⬡ Détails basse énergie

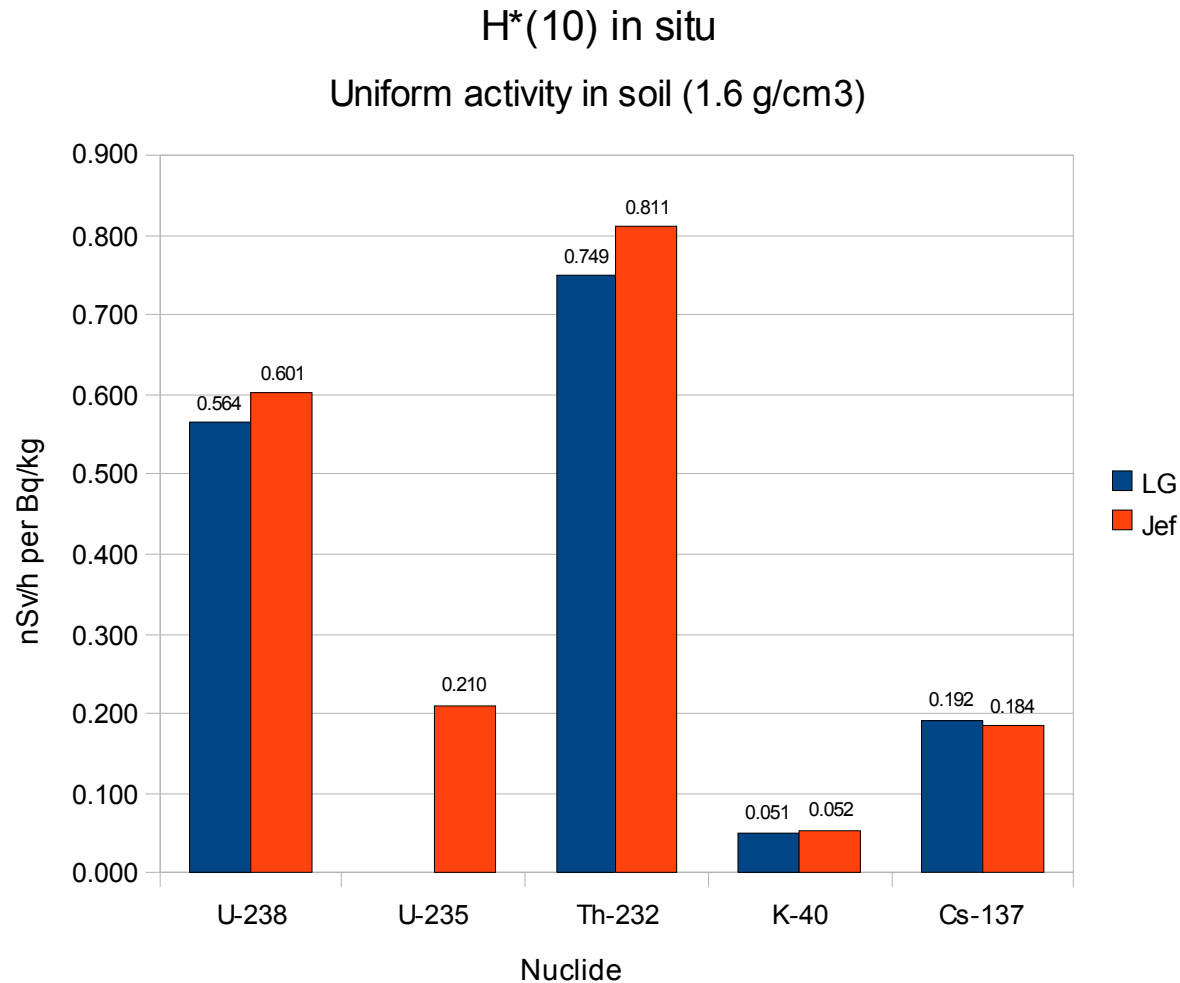
Quasi linéaire pour E et V

Epaulement pour S



Résultats seconde étape

⬡ Nuclides naturels (modèle V)



Contributions des filles

Migration ?

U-238		
Nuc ventil	H	H_contrib
83-BI-214	0.5058	84.609%
82-PB-214	0.0792	13.252%
91-PA-234M	0.0038	0.635%
90-TH-234	0.0030	0.504%
88-RA-226	0.0022	0.363%
82-PB-210	0.0016	0.269%
91-PA-234	0.0006	0.098%
92-U -234	0.0005	0.078%
90-TH-230	0.0004	0.068%
92-U -238	0.0004	0.067%
81-TL-210	0.0002	0.032%
86-RN-222	0.0001	0.019%
84-PO-214	0.0000	0.005%
84-PO-218	0.0000	0.001%
84-PO-210	0.0000	0.000%
85-AT-218	0.0000	0.000%
83-BI-210	0.0000	0.000%
80-HG-206	0.0000	0.000%
86-RN-218	0.0000	0.000%
81-TL-206	0.0000	0.000%

U-235		
Nuc ventil	H	H_contrib
92-U -235	0.0540	25.810%
88-RA-223	0.0433	20.674%
90-TH-227	0.0350	16.719%
82-PB-211	0.0220	10.494%
86-RN-219	0.0179	8.533%
83-BI-211	0.0154	7.345%
91-PA-231	0.0125	5.964%
90-TH-231	0.0083	3.960%
81-TL-207	0.0007	0.341%
87-FR-223	0.0003	0.124%
89-AC-227	0.0002	0.086%
84-PO-215	0.0001	0.033%
84-PO-211	0.0000	0.003%
84-PO-210	0.0000	0.001%
85-AT-218	0.0000	0.000%
83-BI-210	0.0000	0.000%
80-HG-206	0.0000	0.000%
85-AT-215	0.0000	0.000%
86-RN-218	0.0000	0.000%
81-TL-206	0.0000	0.000%

Tables de nuclides utilisées



Périodes

Schémas

Probabilités de branchement

Intensités des émissions



ICRP 38 : 1983

JEFF 2.2 : 2000, NEA

JEFF 3.1 : 2007, peu de différence avec 2.2

DDEP : 2010, LNHB, recommended data

ICRP 107 : 2008, standard actuel

Conclusions

Méthode donnant les facteurs $H^*(10)$ avec 5 % d'incertitude si un modèle S, E ou V est applicable

Modèles S, E, V simplistes

ventiler par tranches selon z

Basses énergies (< 25 keV) à examiner de plus près
différences Geant 3 vs 4

Soit une vache sphérique de 30 cm de diamètre ...

