

## Simulations Monte Carlo de l'anthropo- gammamètre du Laboratoire de Spiez en Suisse

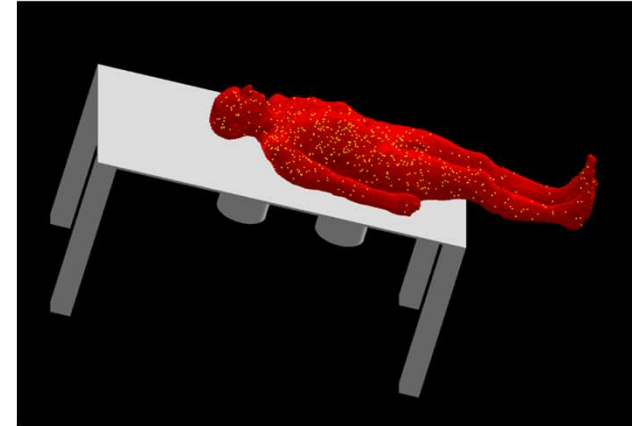
L. Desorgher, N. Mosiman, R. Althaus, C. Wirz, C Bailat,  
S. Medici, F. Bochud

7<sup>ième</sup> Journées codes de calcul 9-10 Mars 2023



# Plan

- Introduction
- Anthro-gammamètre au Laboratoire de Spiez (canton de Berne Suisse)  
Calibration avec mesures et modèle Geant4
- Dépendance de l'efficacité de détection par rapport à la taille et à la corpulence des personnes mesurées
- Influence de la distribution des radio-isotopes dans les organes sur l'estimation de l'activité
- Conclusions

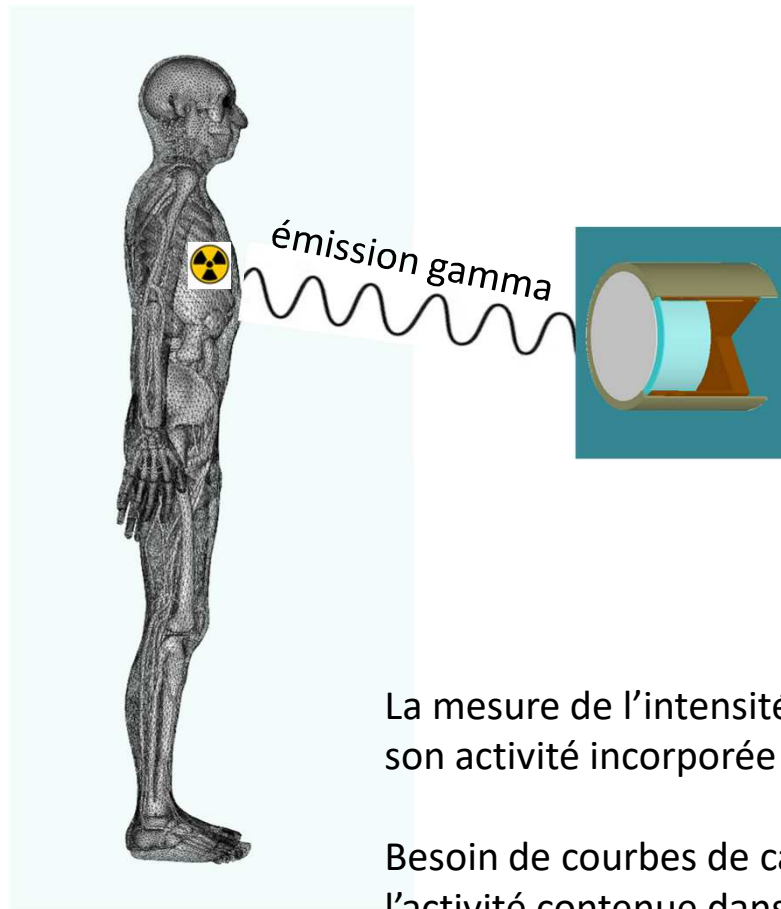


# Compteur corps entier:anthropo-gammamètre

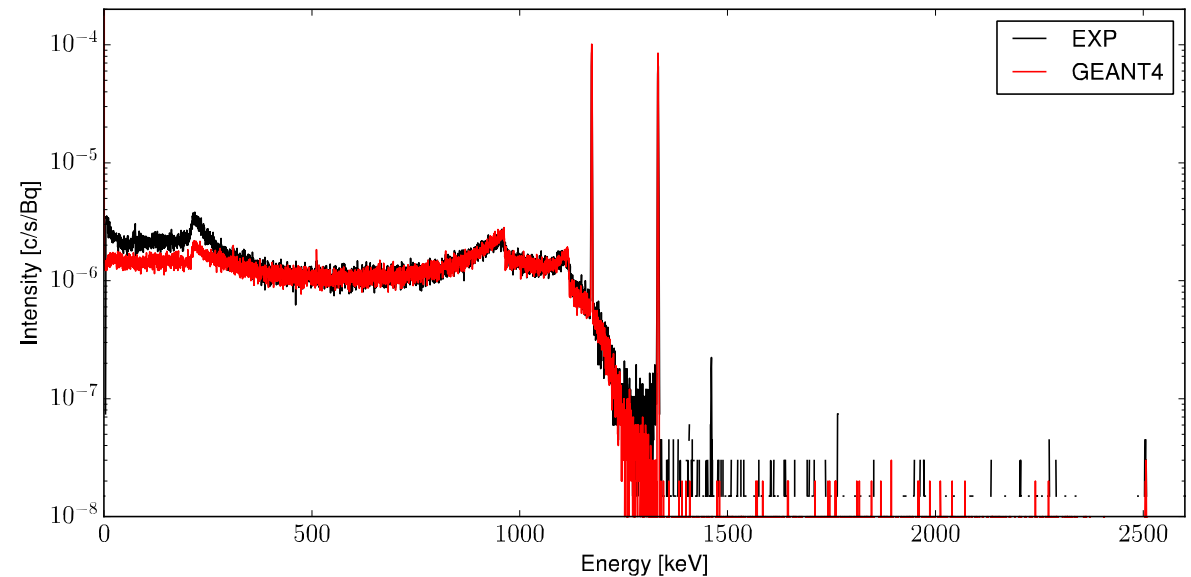
- Mesure de l'activité dans le corps humain de radio-isotope émetteur de rayons gamma
- Détection de photons par spectromètre gamma



# Principe de détection compteur corps entier



Exemple détection source  $^{60}\text{Co}$



La mesure de l'intensité des photons caractéristiques d'un radio-isotope permet de déduire son activité incorporée

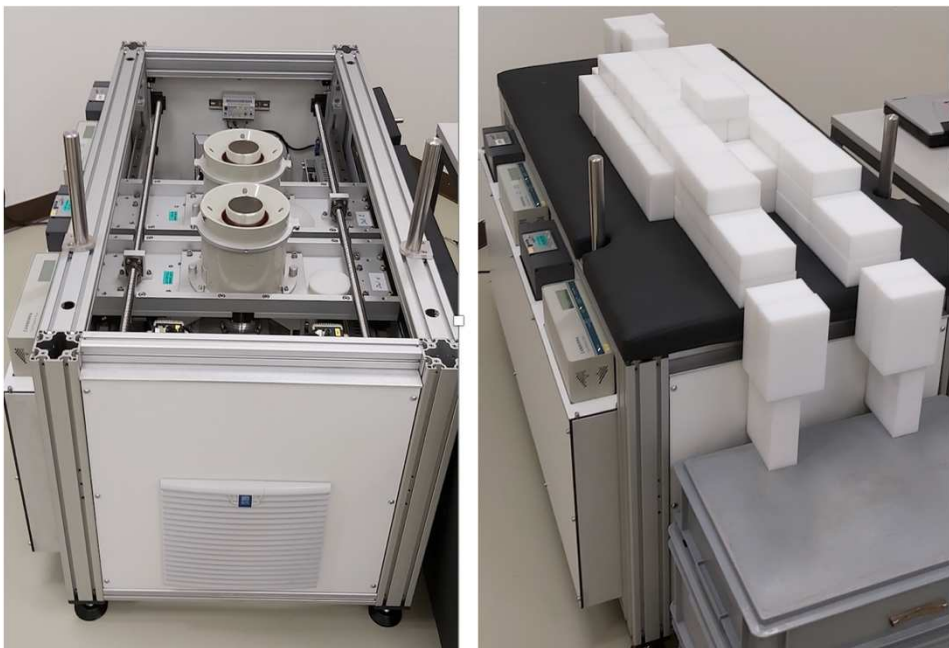
Besoin de courbes de calibration par mesure et simulations Monte Carlo pour déduire l'activité contenue dans le corps à partir des mesures d'intensité

# Laboratoire Spiez

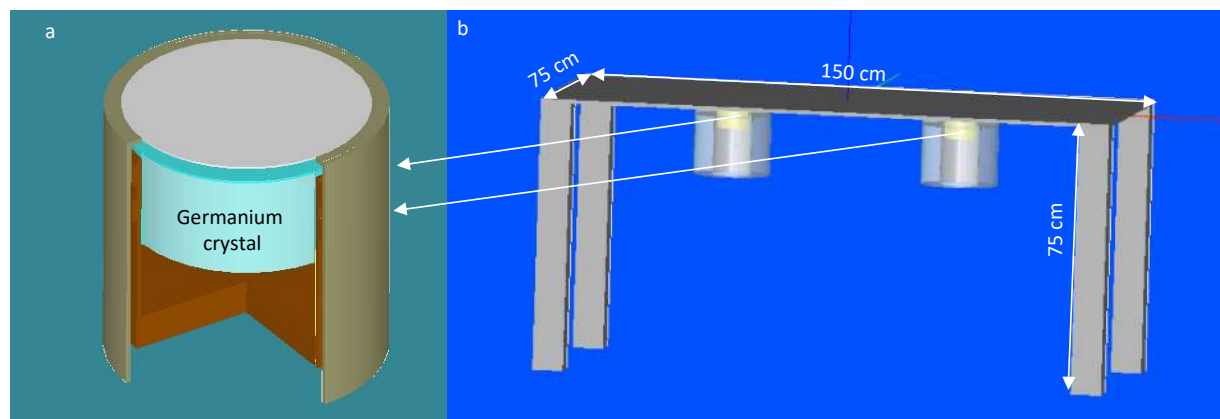
- Fait partie de l'office fédéral Suisse de la protection civile
- Situé près du lac de Thoune dans la canton de Berne
- Laboratoire responsable de la protection en cas d'incidents ABC



# Compteur corps entier du laboratoire Spiez

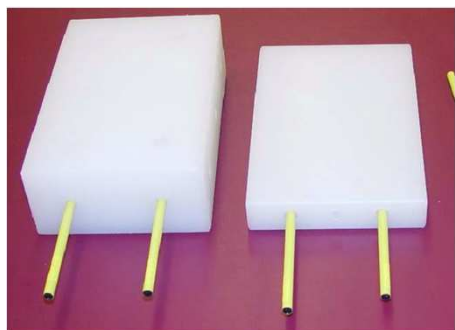


Modèle Geant4

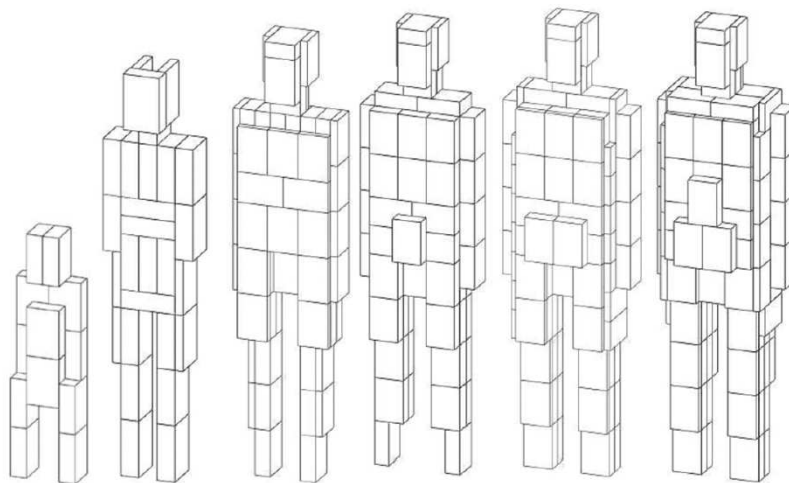


- Deux détecteurs germanium avec position ajustable le long du corps
- Deux compteurs de même type : fixe et mobile
- Utilisation en cas de situation d'urgence radiologique

# Calibration avec fantômes IGOR

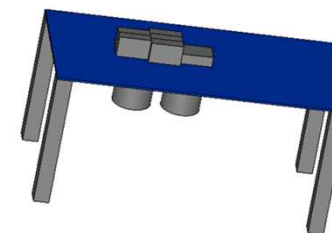


- Fantômes IGOR P0-P6 pour modéliser différentes catégories de taille et corpulence
- Blocs de polyéthylène rempli de barres radioactives avec source de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$
- Modélise une contamination corps entier homogène
- Positions différentes des détecteurs pour chaque type de fantôme, personne

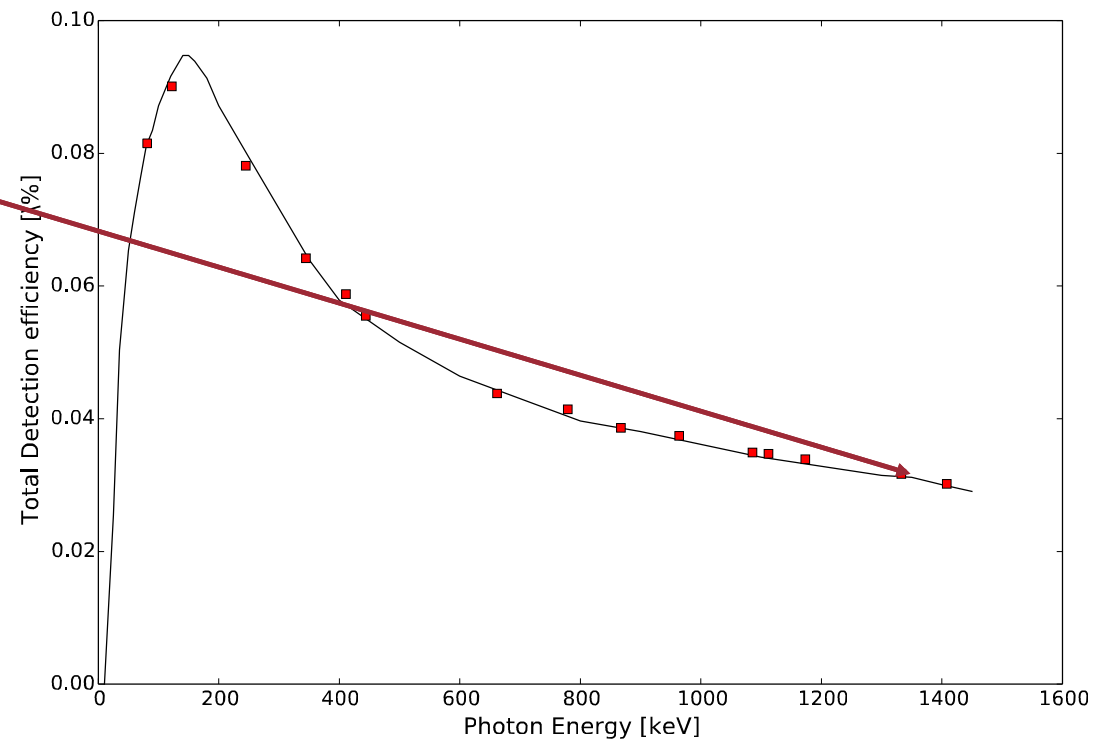
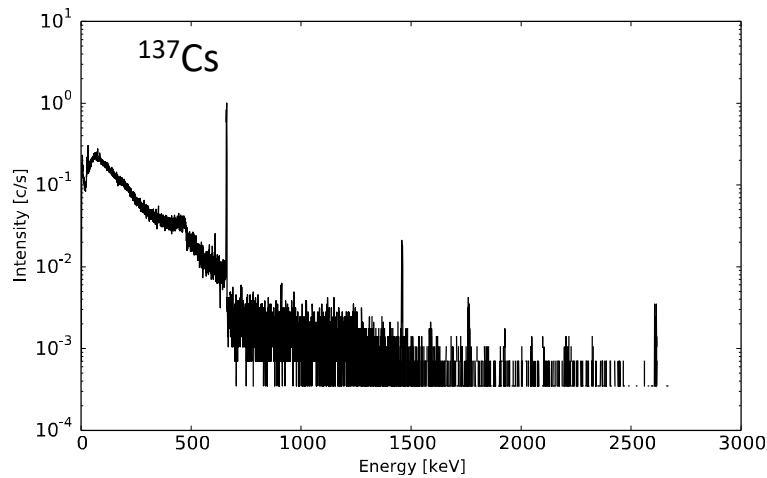
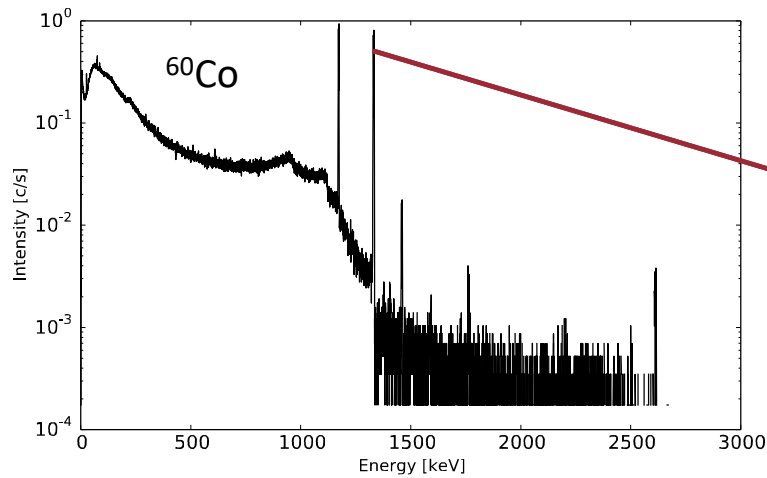


P1 P2 P3 P4 P5 P6

Type of the phantom (index of standard sample in the set)	Age and anthropometric characteristics of the human body			
	Age, years	Weight, kg	Height, cm	Average thickness, cm
F1	2	12	82,5	8,8
F2	6	24	121,0	10,9
F3	14	50	160,0	11,8
F4	18	70	170,5	14,3
F5	18	90	170,5	15,7
F6	18	110	170,5	19,4



# Calibration avec fantômes IGOR

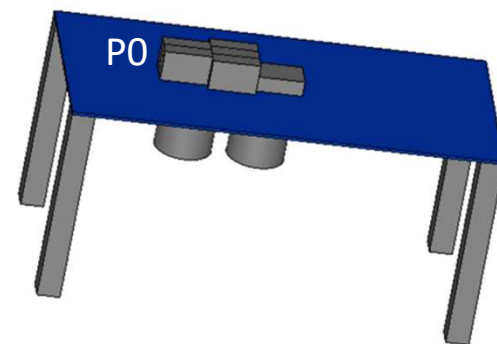
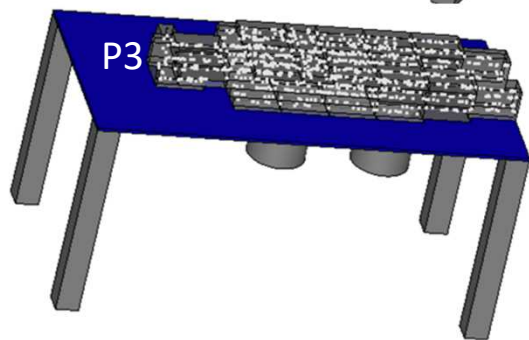
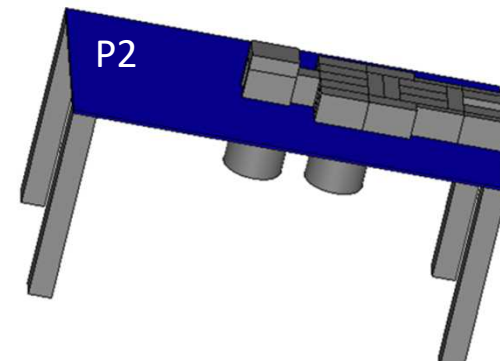
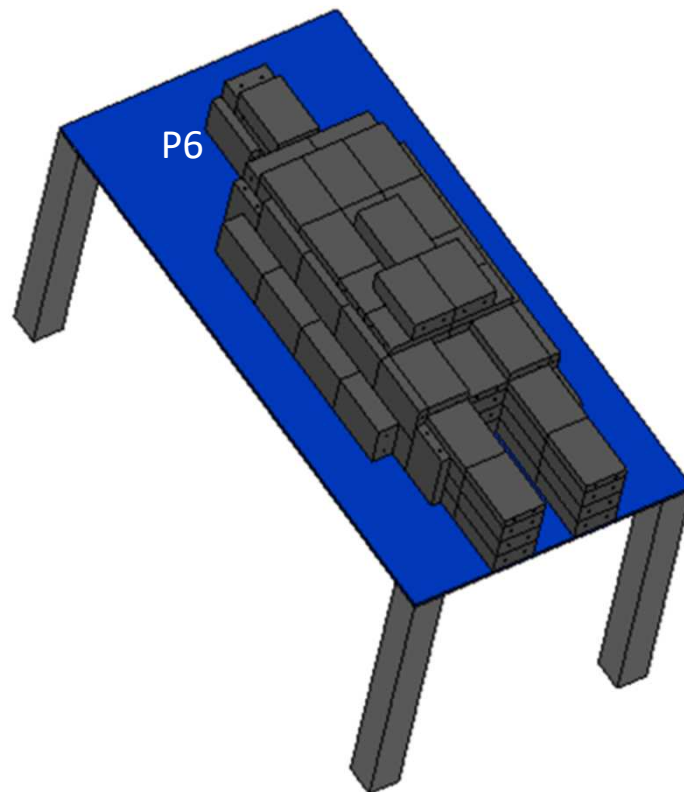
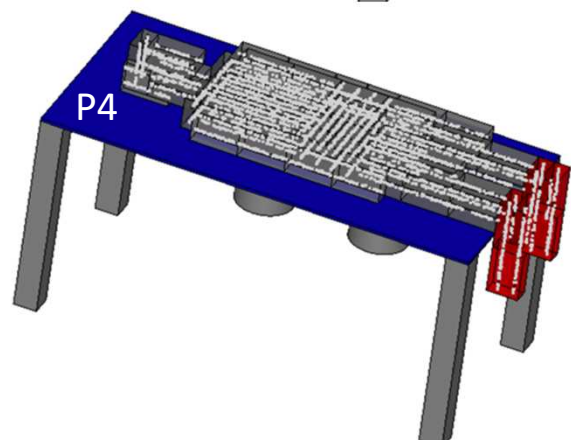
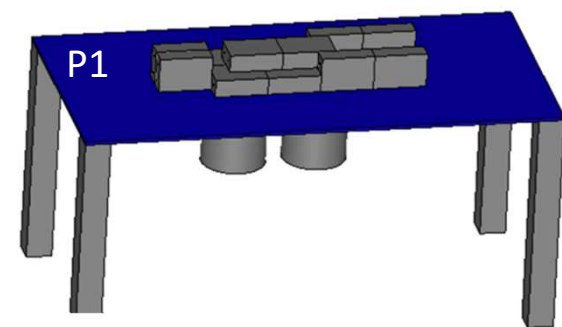
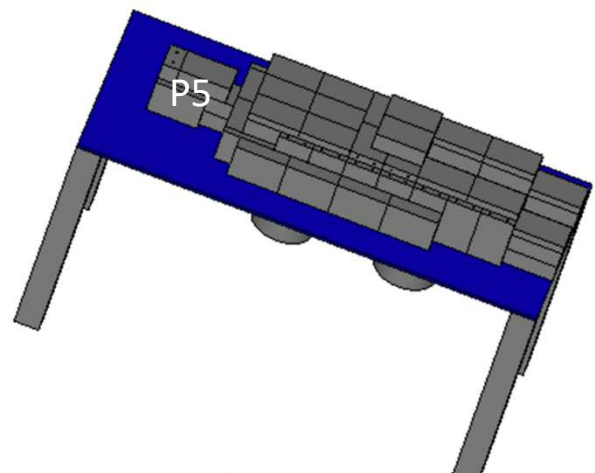


Quelle courbe de calibration IGOR utiliser pour une personne donnée?

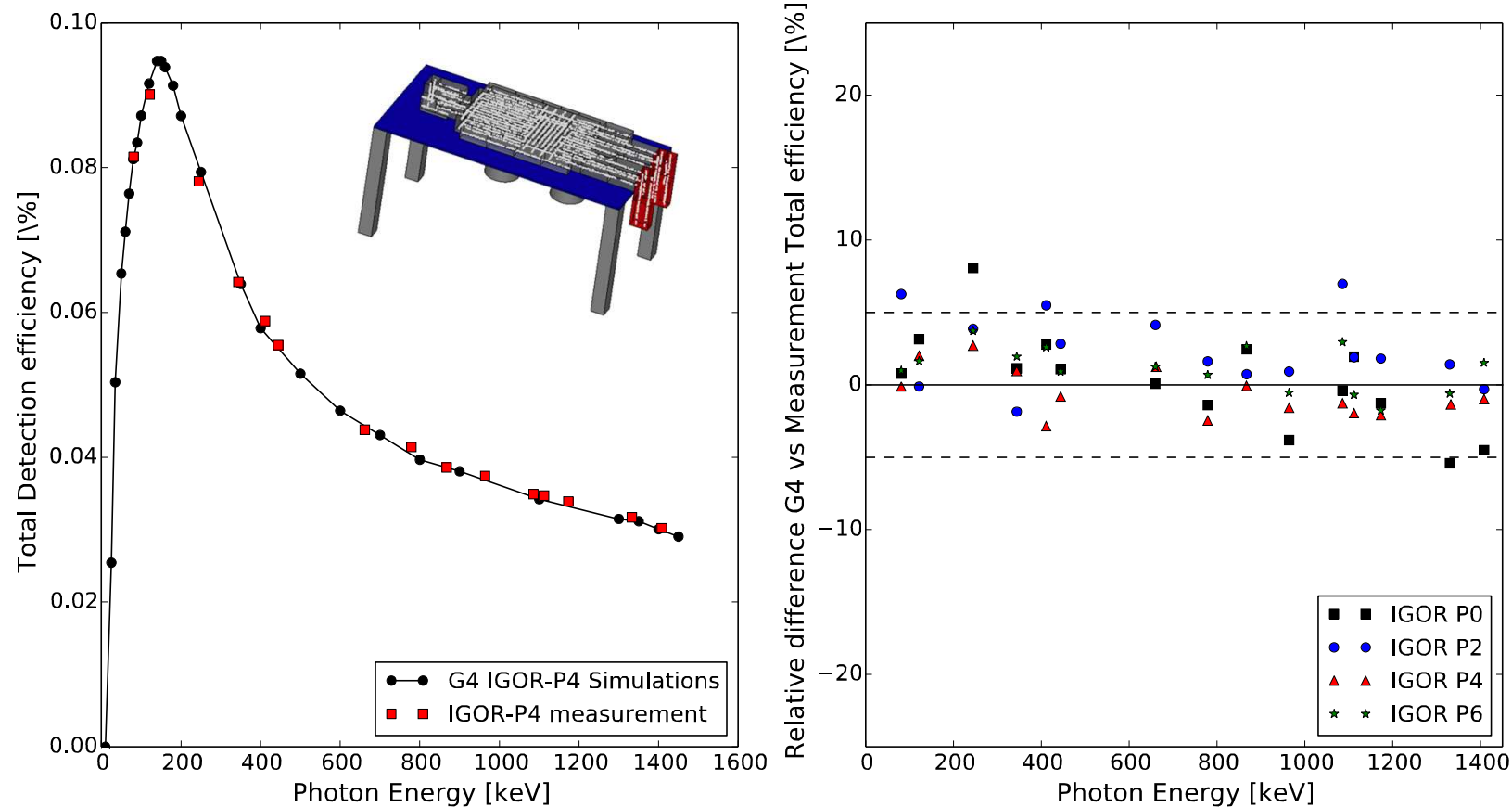
Besoin de simulations Monte Carlo!



# Modèles Geant4 du détecteur avec fantômes IGOR

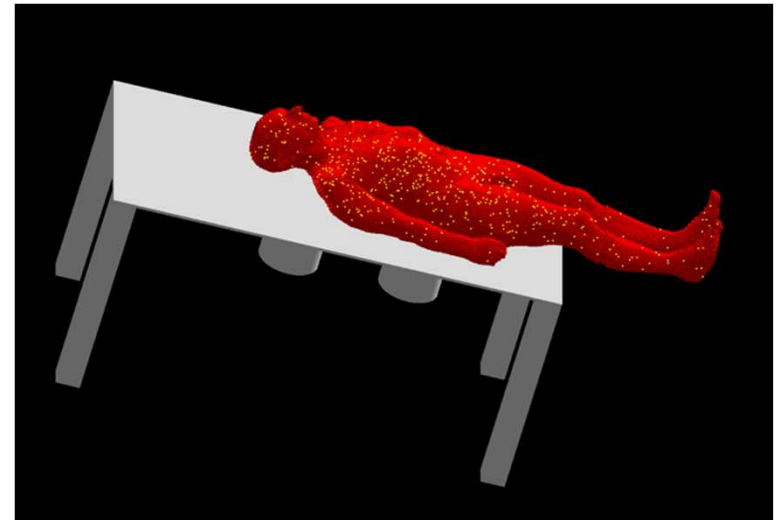
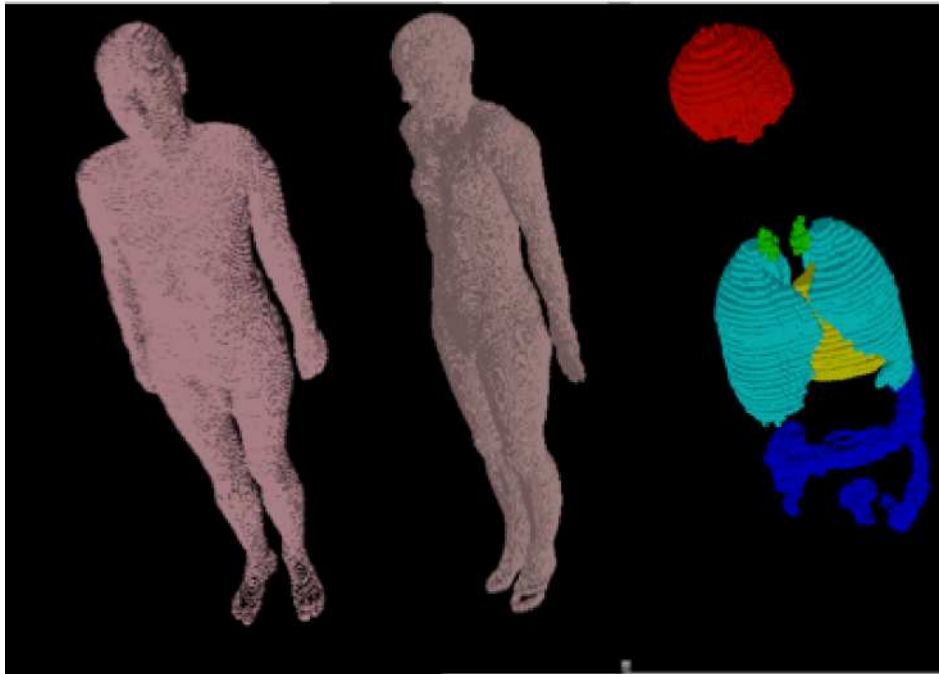


# Comparaison mesures et calculs Monte Carlo – Courbe de calibration



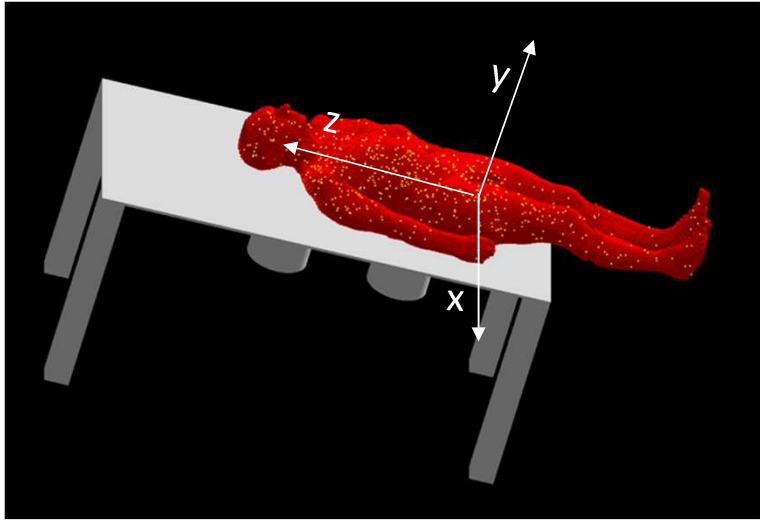
Modèle Geant4 du compteur corps entier est donc bien validé!

# Utilisation des fantômes anthropomorphiques voxélisés de la CIPR pour calculer des scénarios plus précis de détection



Quelle courbe de calibration du compteur corps entier utiliser en fonction de la taille et de la corpulence des personnes à mesurer?

# Modification de la taille et la corpulence des fantômes



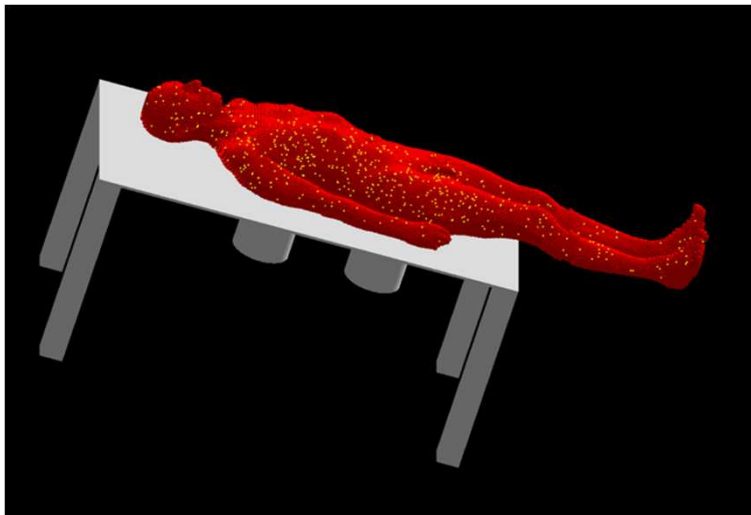
## Variation de la corpulence

Mise à l'échelle des voxels le long de X et Y

$$f_x = f_y = \sqrt{f_w}$$

## Variation de la taille

Mise à l'échelle des voxels le long Z *par facteur*  $f_z$

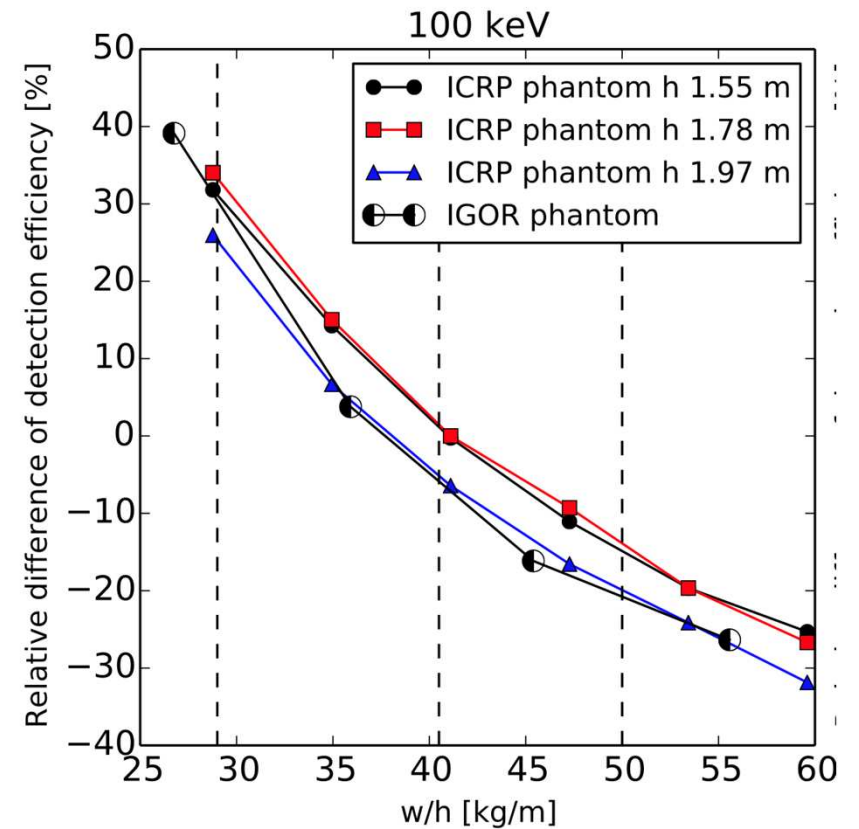


**Distribution homogène des sources dans le corps**

# Efficacité de detection

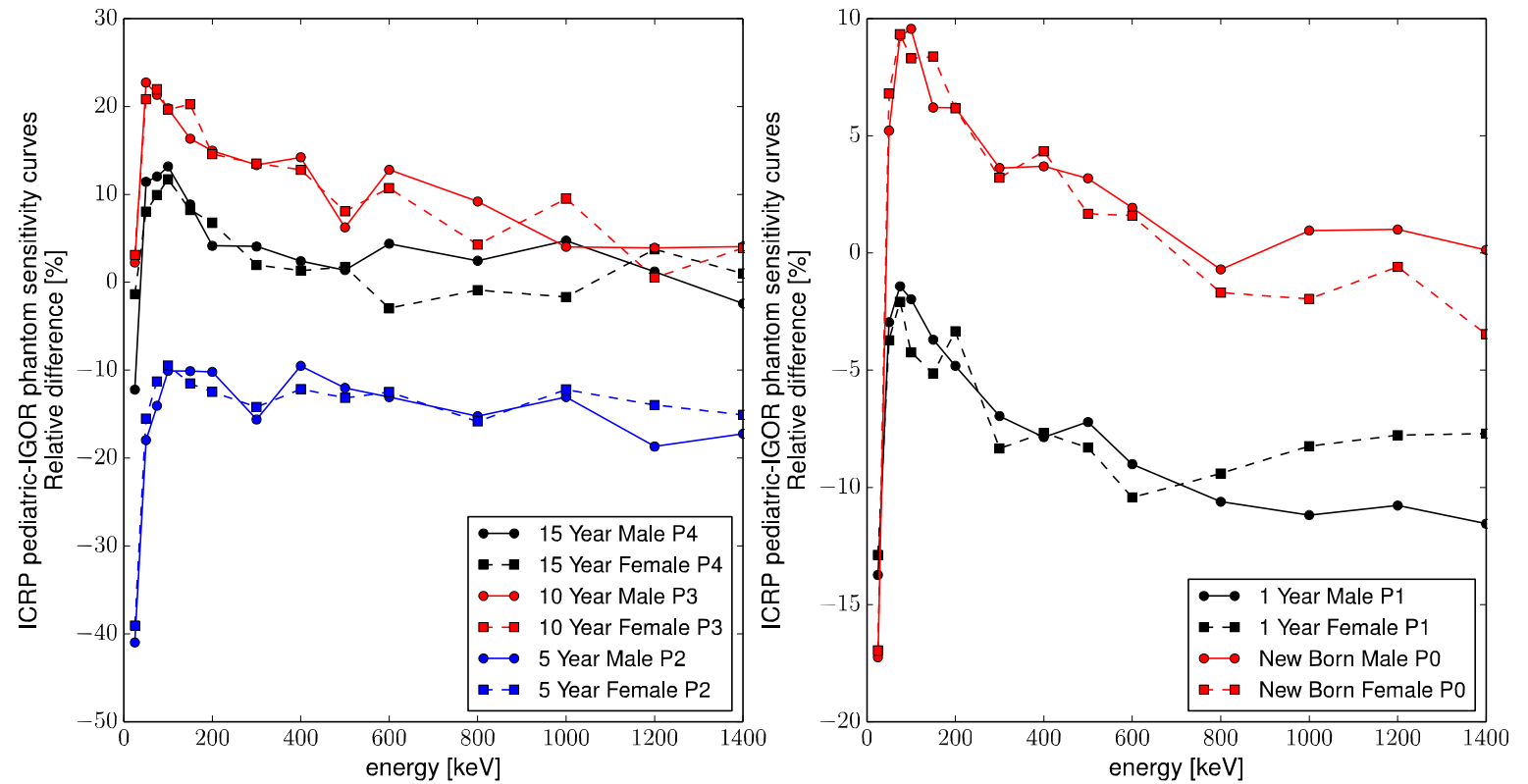
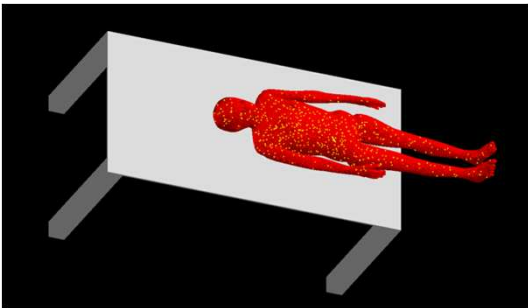
## pour différents poids (W) et tailles (H)

- Distribution homogène dans le corps
- Efficacité de détection dépend du paramètre  $W/H$
- Même dépendance pour les fantômes homme et femme
- Même dépendance pour différentes énergies
- $W/H$  est un bon paramètre pour trier les patients dans les différentes categories P0-P6



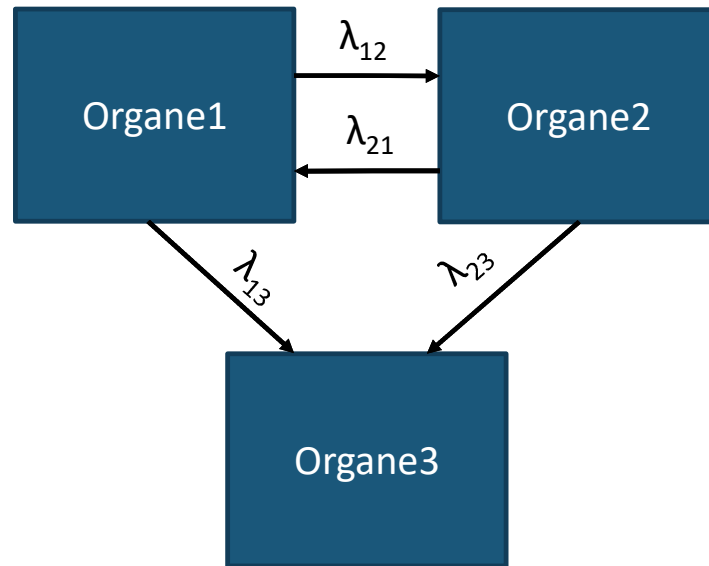
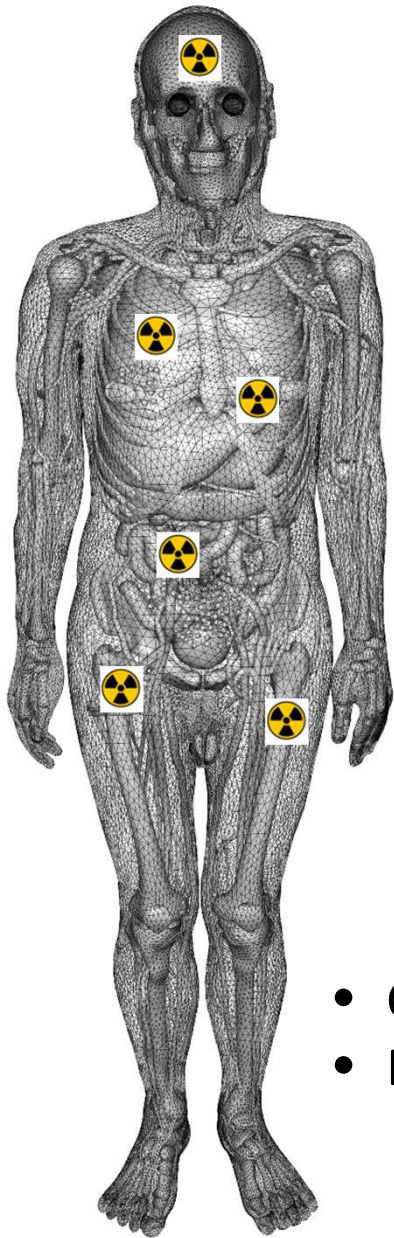
	Courbe de calibration IGOR						
	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
W/H	<11.6	11.6-15	15-22	22-29	29-40.5	40.5-50	>50
Critère de sélection							

# Différence relative entre efficacité de détection des fantômes pédiatriques et courbe de calibration IGOR



Le critère de sélection des courbes de calibration IGOR permet une mesure corps entier précise à 10-20 % dans le cas d'une distribution homogène des radio-isotopes dans le corps.

# Utilisation des modèles bio-cinétiques de la CIPR pour calculer la distribution non homogène des radio-isotopes dans le corps



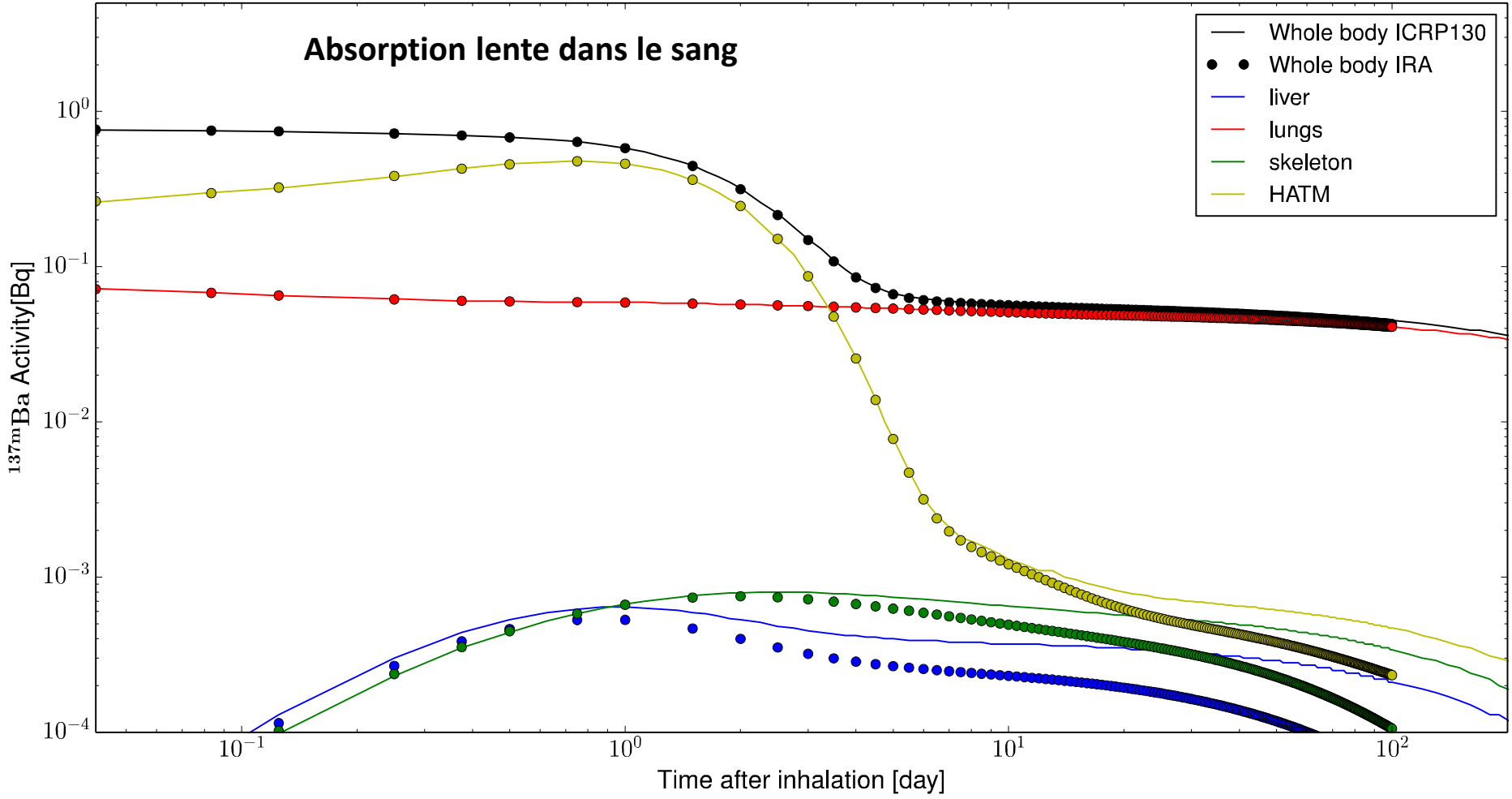
$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_{12}N_1 - \lambda_{13}N_1 + \lambda_{21}N_2$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_{12}N_1 - \lambda_{21}N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_{13}N_1 + \lambda_{23}N_2$$

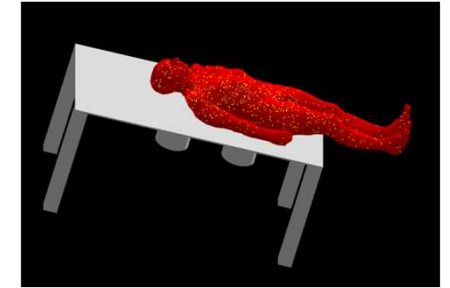
- Corps humain divisé en compartiments regroupant plusieurs tissus, organes,..
- Equations différentielles pour calculer le transfert entre compartiments

# Activité de $^{137m}\text{Ba}$ dans différents organes après inhalation de 1 Bq de $^{137}\text{Cs}$





Estimation de l'activité mesurée quand la dispersion non homogène des radio-isotopes dans le corps est prise en compte



Activité inhalée

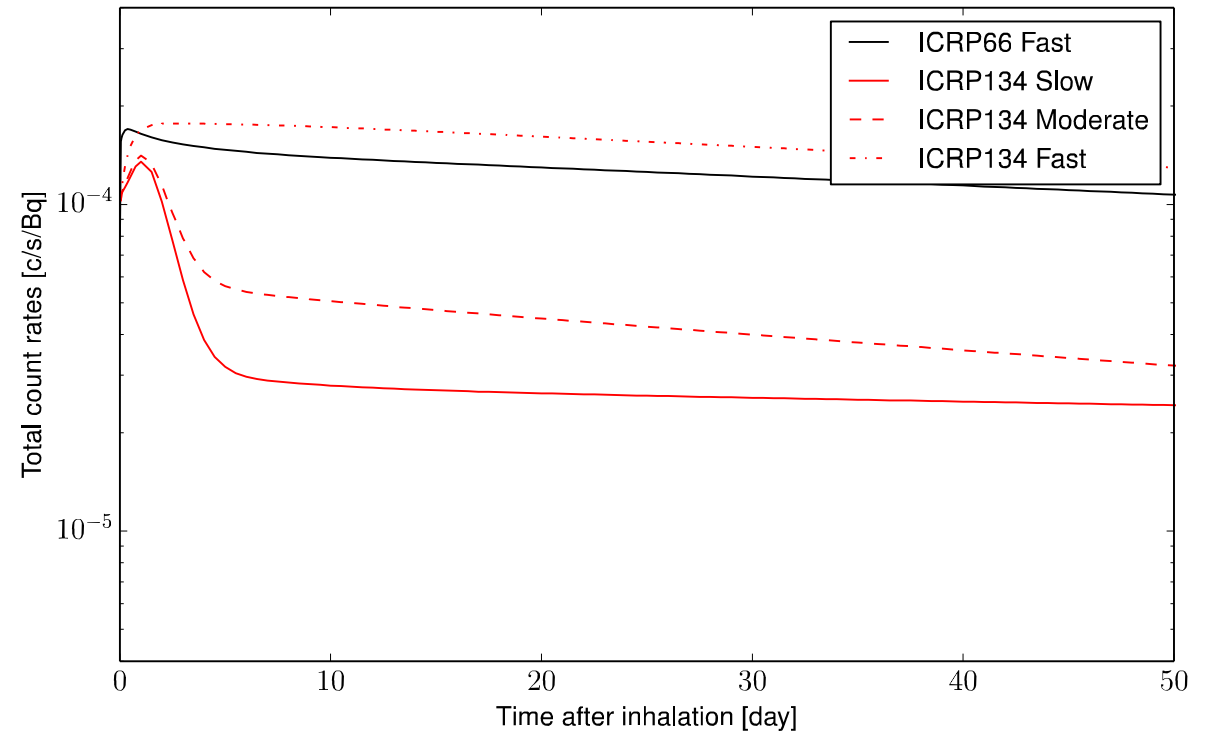
Activité estimée

$$A_m(t) = \frac{A_o D(\lambda, t)}{C(\lambda)}$$

Courbe de calibration

Efficacité de détection calculée par Monte Carlo

Détection du photon de 661.7 keV du  $^{137}\text{Cs}$

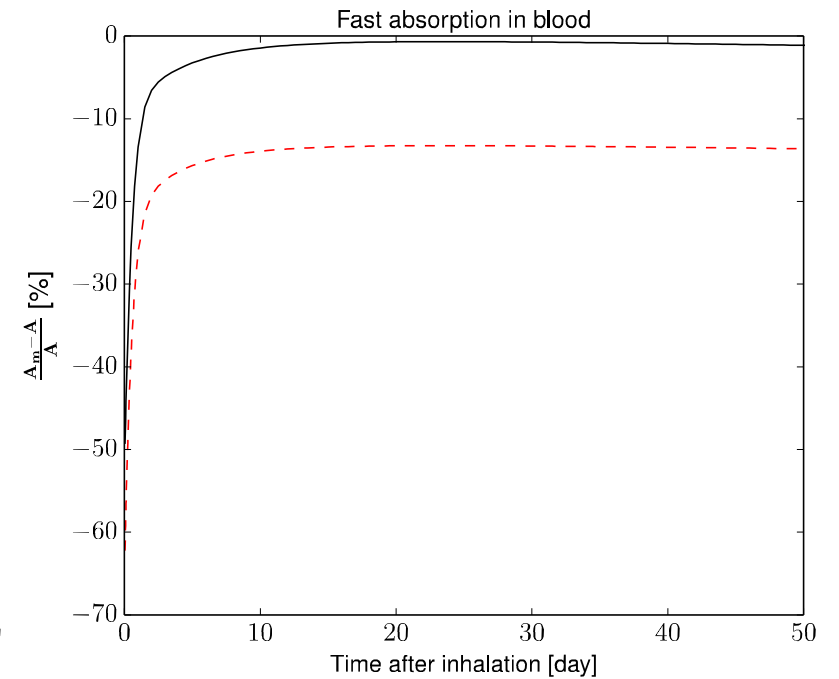
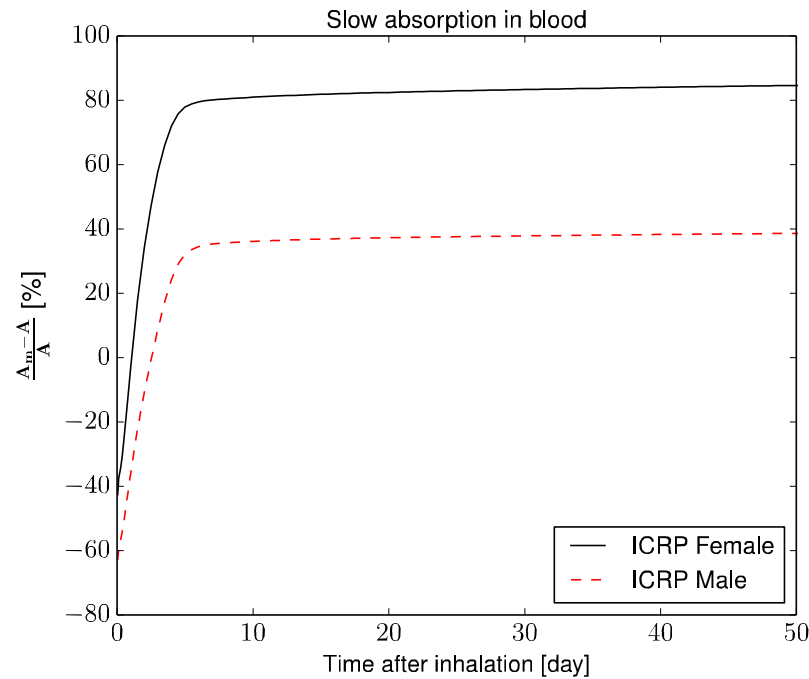


# Estimation du biais dans la mesure d'activité

Activité estimée

$$A_{\text{biais}} = \frac{A_m(t) - A(t)}{A(t)}$$

Activité totale dans le corps calculée par modèle bio-cinétique



Dans le cas d'une distribution très inhomogène le biais peut atteindre 80 %

# Conclusions

- Un modèle Monte Carlo du compteur corps entier du laboratoire Spiez a été développé et validé
- Il a permis d'étudier à l'aide de fantômes voxelisés de la CIPR la dépendance de l'efficacité de détection en fonction de la taille et de la corpulence
- Nous avons défini un critère de sélection des courbes de calibration pour toute personne
- Pour une contamination corps entier homogène ,ce critère de sélection permet de mesurer l'activité avec 10-20 % d'exactitude
- En combinant les calculs Monte Carlo et les modèles bio-cinétiques de l'ICRP nous avons estimé le biais dans la mesure de l'activité incorporée en fonction du scénario de distribution des radio-isotopes dans le corps humain
- Dans certains cas ce biais peut atteindre 80 %

Merci pour votre attention