



**HAL**  
open science

## Les coefficients de dose interne de la CIPR

Eric Blanchardon, Francois Paquet

► **To cite this version:**

Eric Blanchardon, Francois Paquet. Les coefficients de dose interne de la CIPR. SFRP 2023 - Congrès national de radioprotection, Société française de radioprotection, Jun 2023, Dijon (Bourgogne), France. irsn-04134018

**HAL Id: irsn-04134018**

**<https://irsn.hal.science/irsn-04134018>**

Submitted on 20 Jun 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



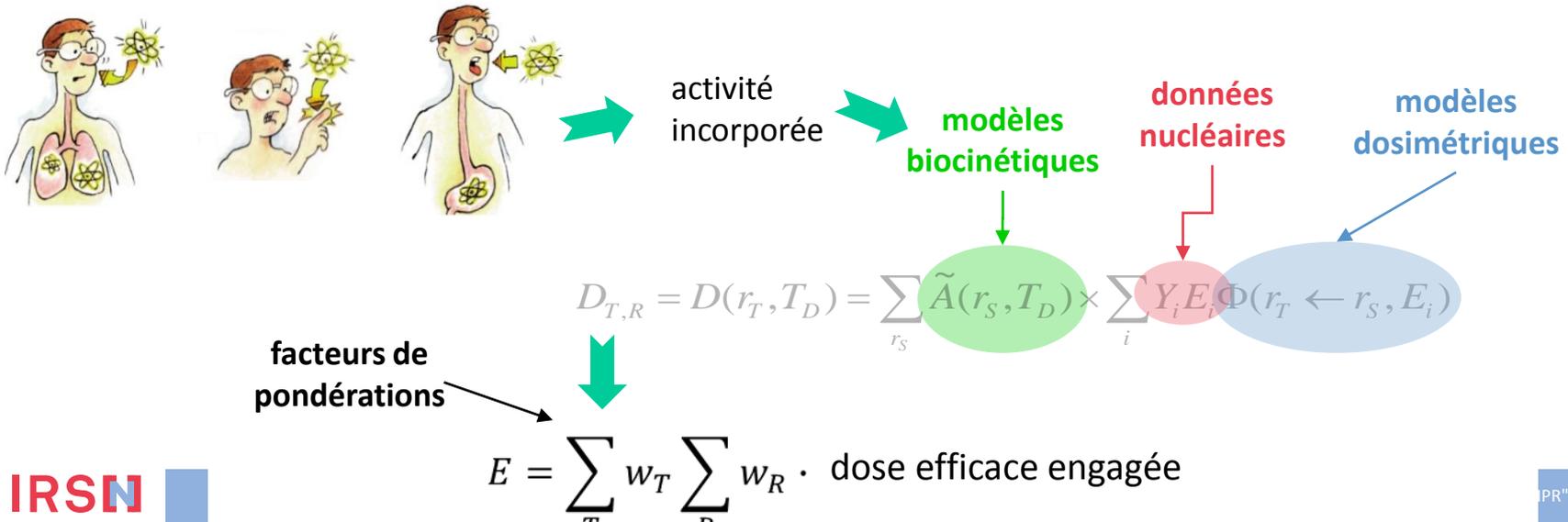
Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

# LES COEFFICIENTS DE DOSE INTERNE DE LA CIPR

E. Blanchardon, F. Paquet

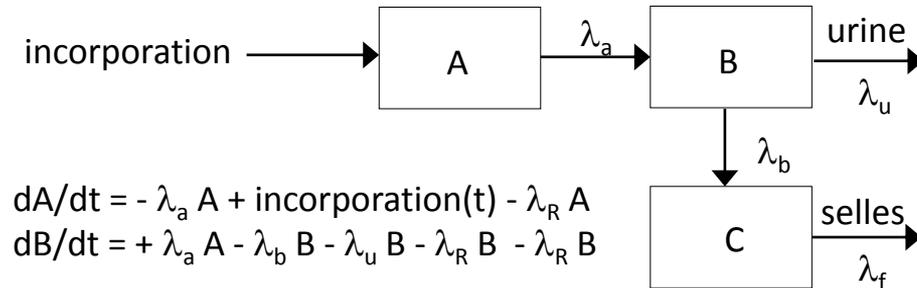
## Particularités de l'exposition interne

- La source d'irradiation est la désintégration d'un radionucléide dans le corps humain.
- L'irradiation se prolonge dans le temps.
- Les rayonnements non pénétrants ( $\alpha$  et  $\beta$ ) contribuent à la dose.
- La distribution de dose est souvent hétérogène.
- La dose interne ne se mesure pas, elle s'estime à l'aide de modèles.

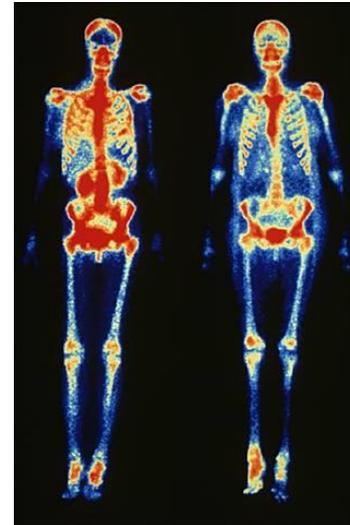


## Modèles biocinétiques

- Ils décrivent la distribution dans le corps et l'épuration des substances radioactives au cours du temps.
- Ils indiquent quels tissus sont irradiés et pendant combien de temps
- Ils prédisent la rétention dans les organes, l'excrétion urinaire et fécale et le nombre total de désintégrations.

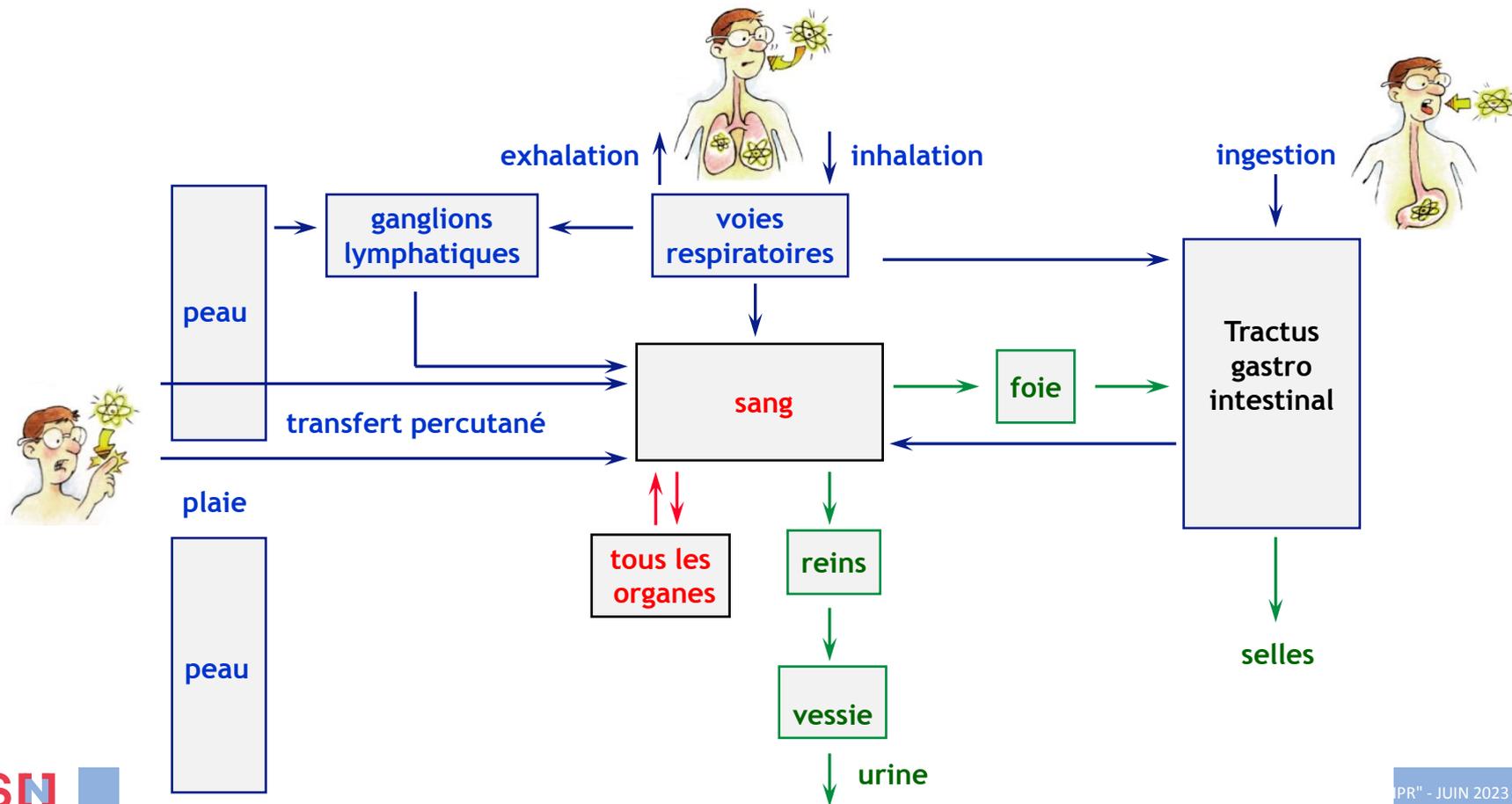


### Ex : <sup>99m</sup>Tc après scintigraphie



# Modèles biocinétiques

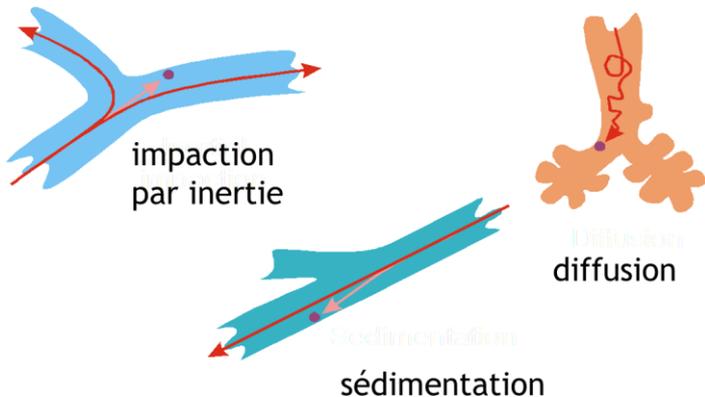
Les modèles des voies d'entrée dépendent du mode d'incorporation et des propriétés physico-chimiques de la substance incorporée. Les modèles systémiques et les voies d'excrétion dépendent de l'élément chimique.



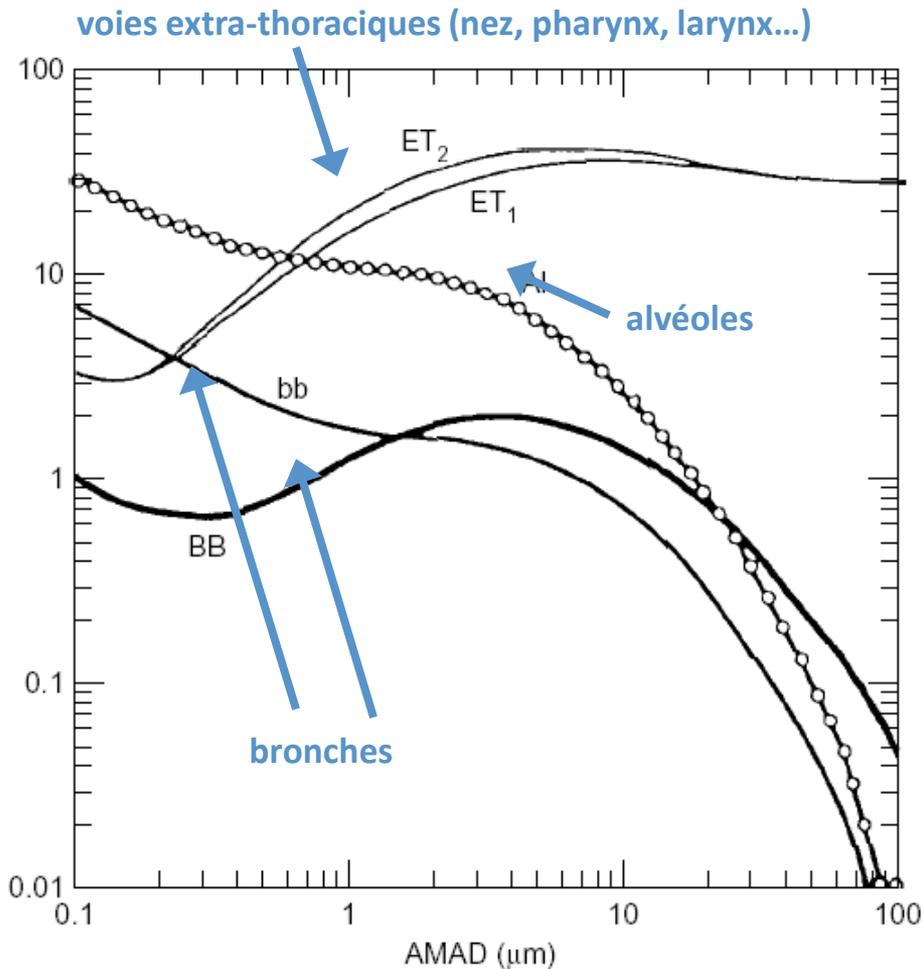


## Modèle respiratoire humain

➔ Dépôt des particules inhalées dans les voies respiratoires suivant leur taille

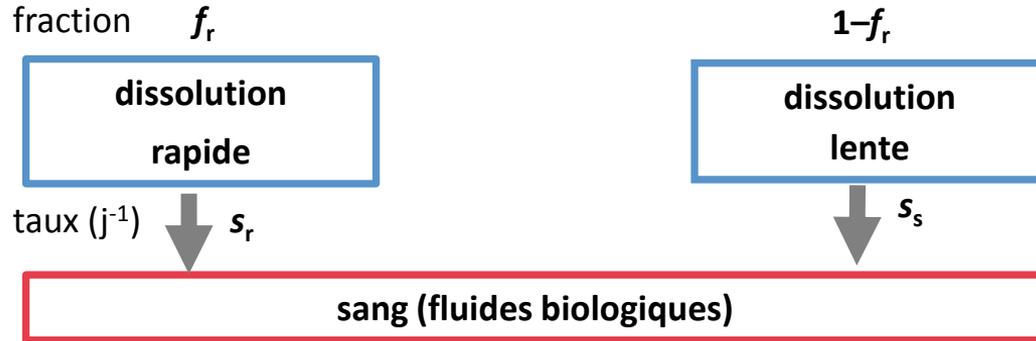


Les particules fines se déposent dans le poumon profond. Les plus grosses particules se déposent dans les voies extra-thoraciques.





# Absorption vers le sang

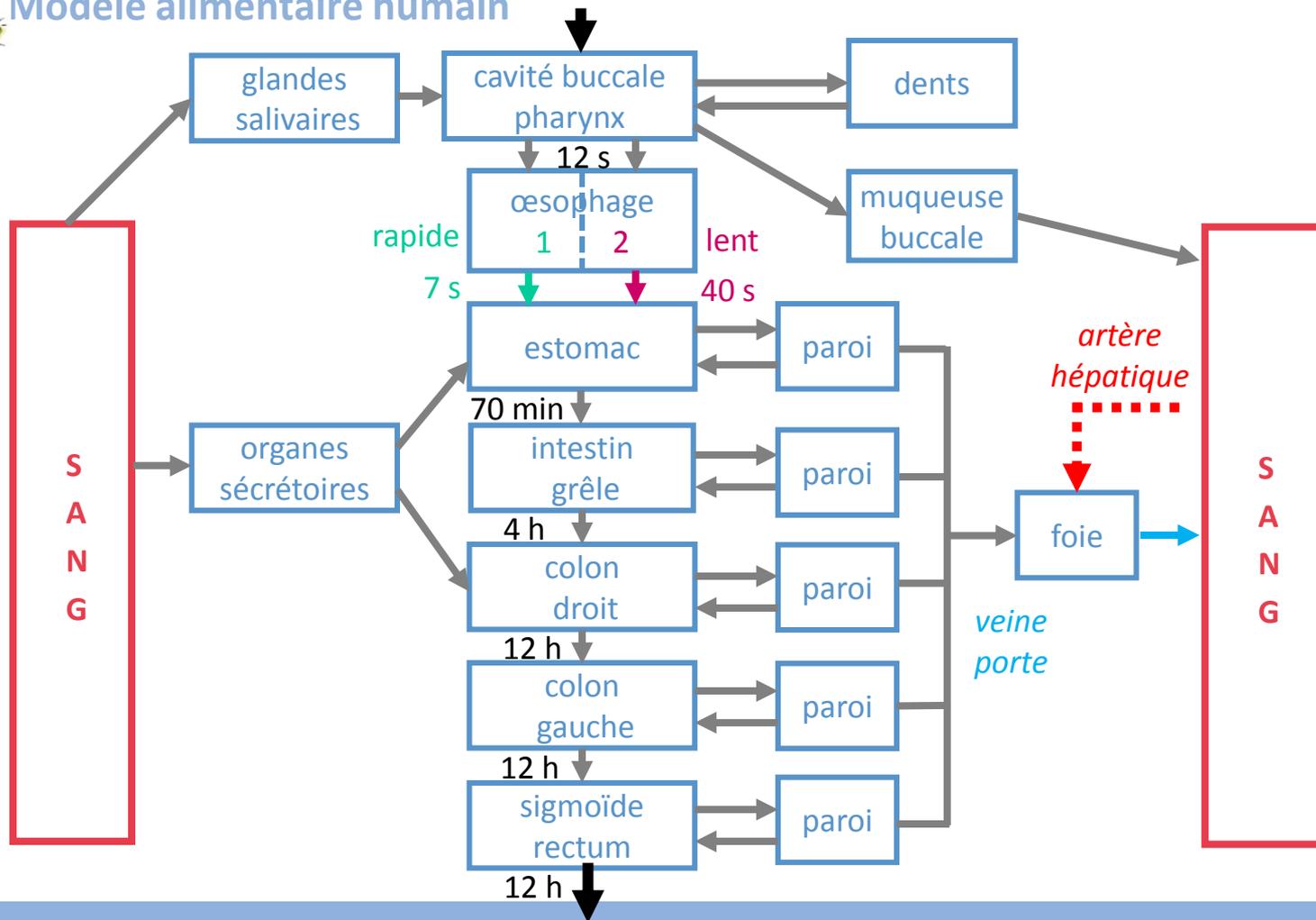


## ➤ Types d'absorption de référence F, M, S suivant la forme chimique du radionucléide

Type	fraction rapidement dissoute	taux de dissolution rapide ( $d^{-1}$ )	taux de dissolution lente ( $d^{-1}$ )
	$f_r$	$s_r$	$s_s$
F (rapide)	1	30	-
M (modérée)	0,2	3	0,005
S (lente)	0,01	3	0,0001



# Modèle alimentaire humain

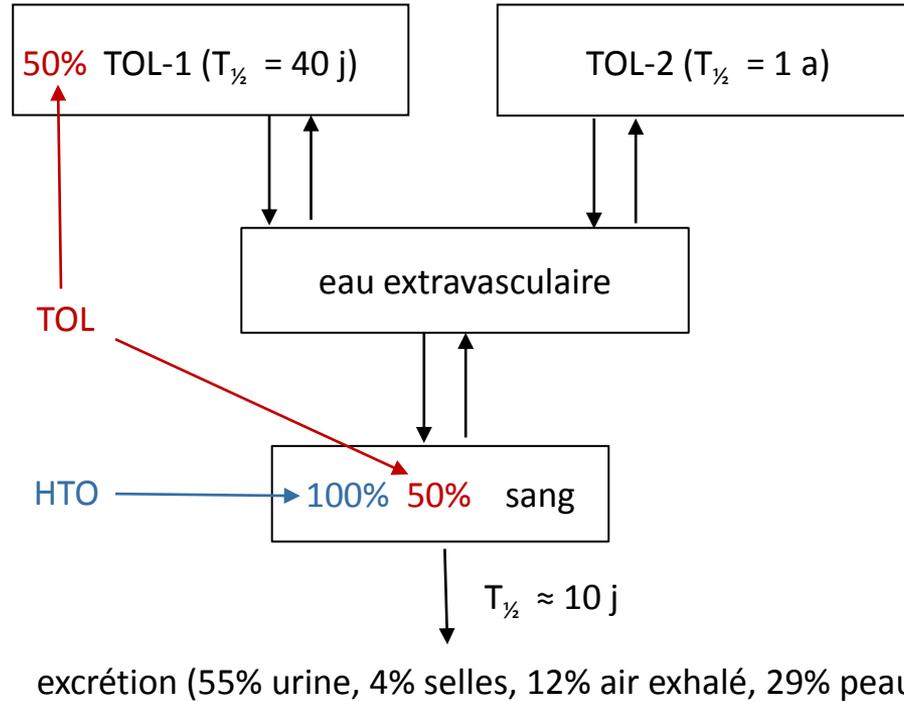


# Absorption intestinale

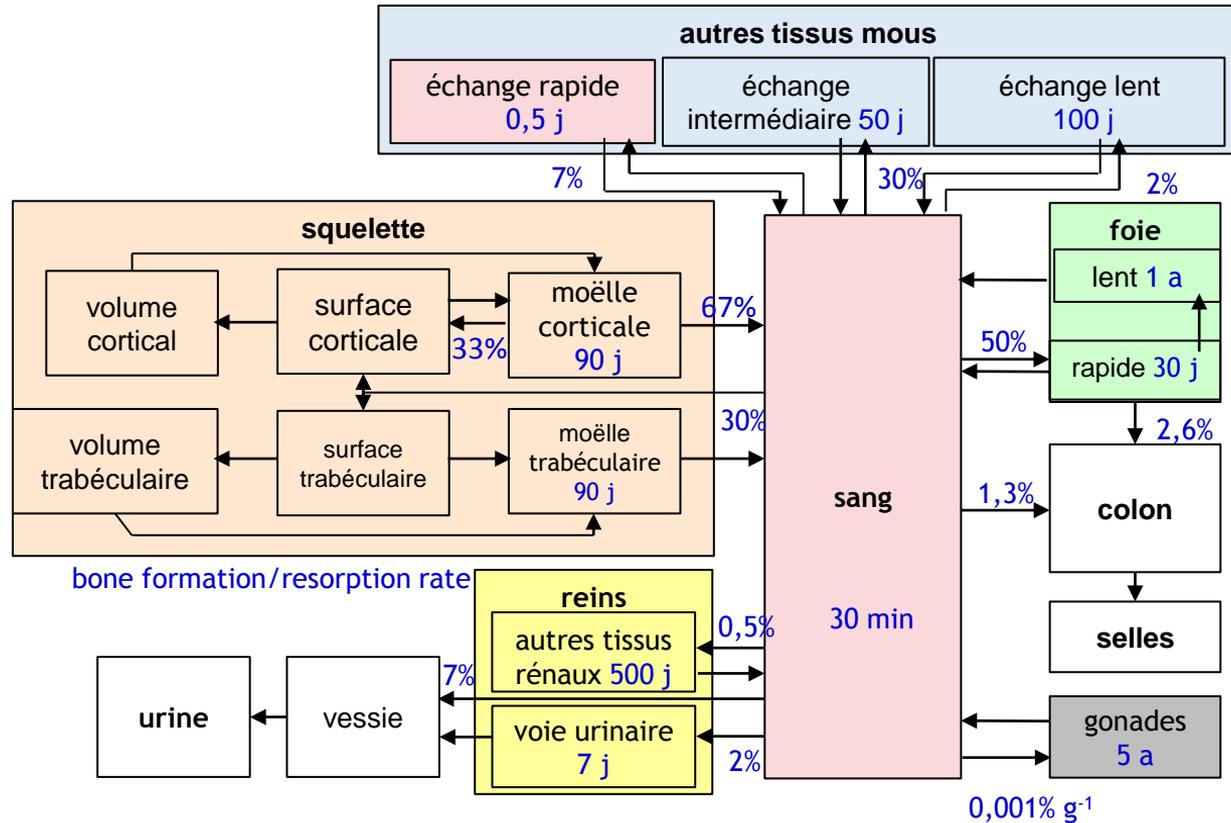
■  $f_A (f_1)$  = fraction absorbée vers le sang de l'activité ingérée

élément	$f_A / f_1$	substance
cobalt	0,1	composés non spécifiés
	0,05	oxydes insolubles
iode	1	tous composés
césium	1	composés non spécifiés
	0,1	fragments de combustible irradié
radium	0,2	tous composés
uranium	0,02	formes solubles
	0,002	formes relativement insolubles
plutonium	$5.10^{-4}$	nitrate, composés non spécifiés
	$1.10^{-5}$	oxydes
américium	$5.10^{-4}$	tous composés

# Modèle systémique du tritium



# Modèle systémique de l'américium

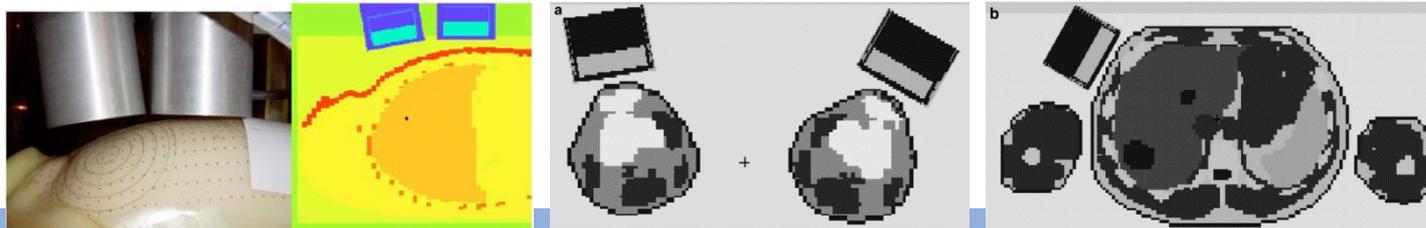
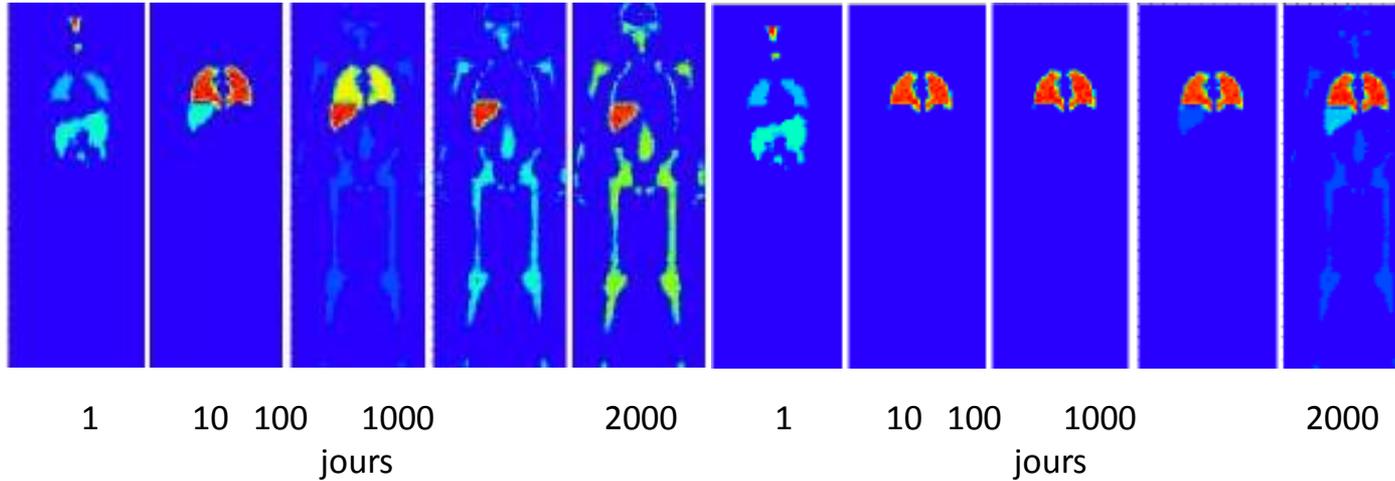


# Répartition de l'américium dans le corps humain après inhalation

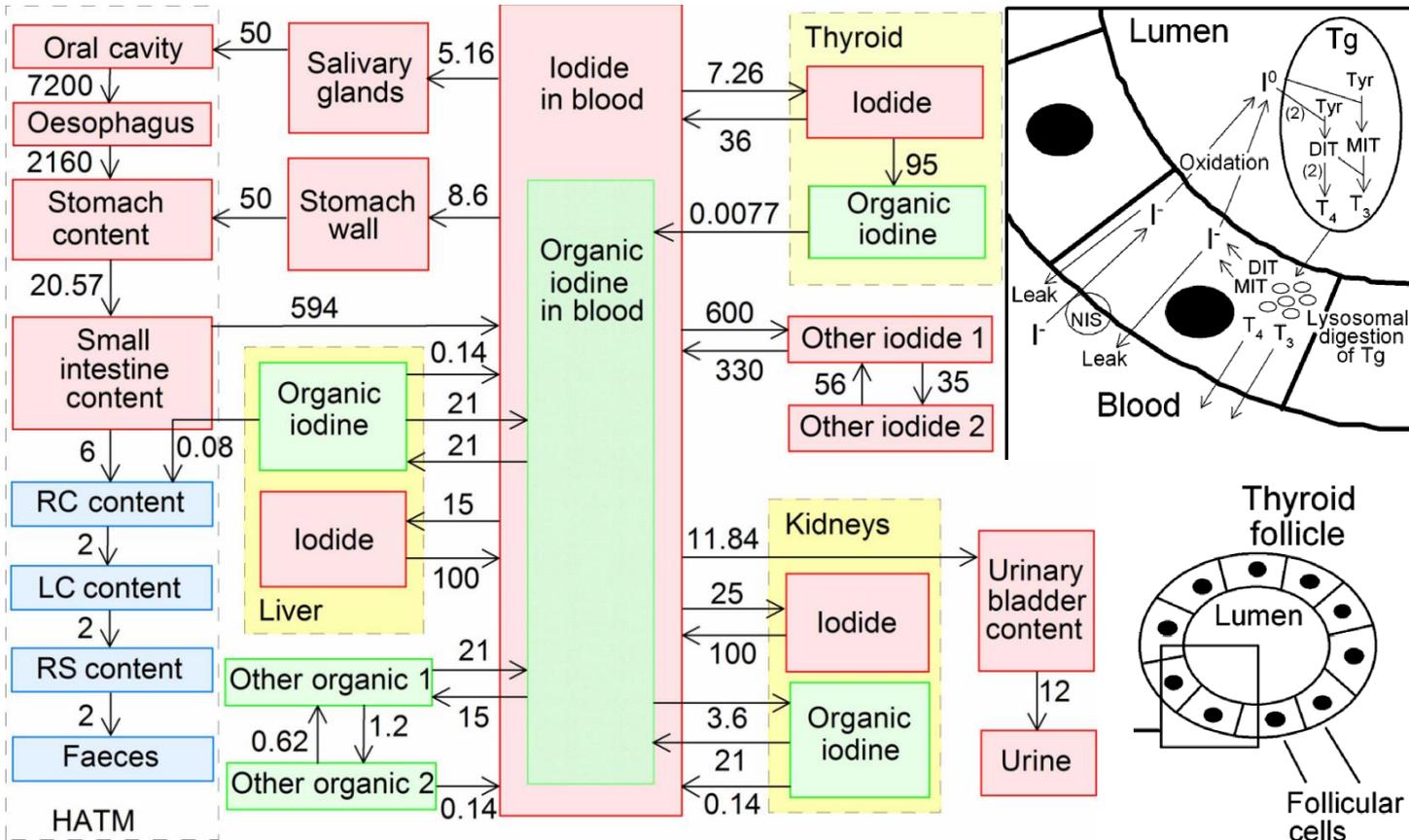
Lamart et al. 2008

Type d'absorption M

Type d'absorption S



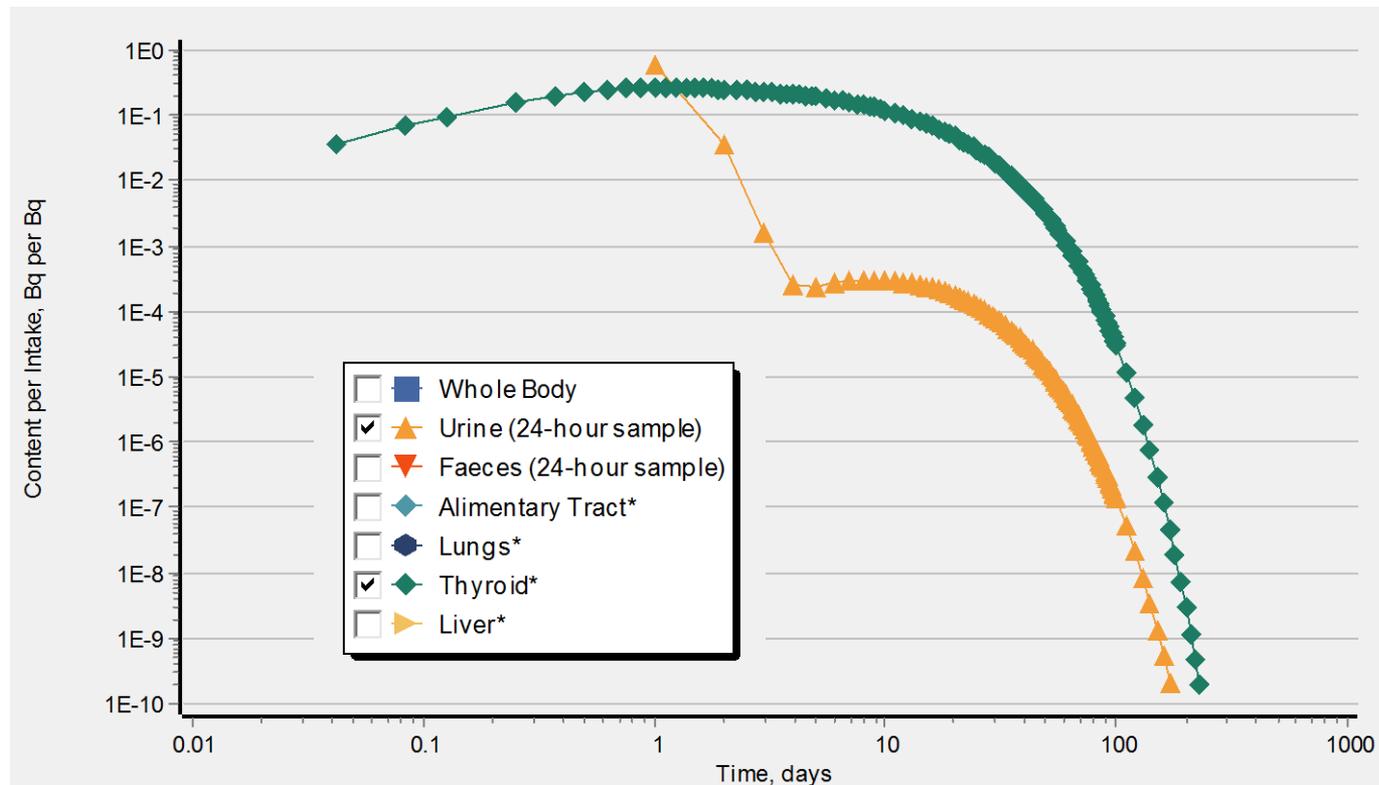
# Modèle systémique de l'iode



# Rétention de l'iode dans la thyroïde et excrétion urinaire

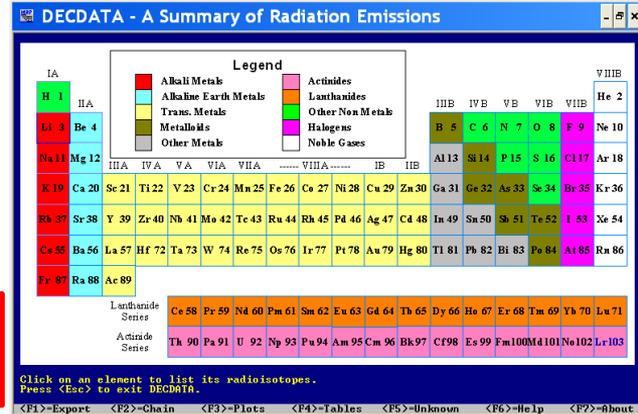
ICRP OIR data viewer

Après inhalation de vapeur d'iode 131



# Base de données nucléaires

Publication CIPR 107 : exemple de l'aluminium 26



rendement x énergie /  
particule = énergie émise

Rendement d'émission =  
nombre de  
particules de ce  
type émises par  
transition nucléaire

Energie d'une  
particule

Activité spécifique

Période  
radioactive

Types de  
rayonnement

**Summary of Al-26 Emissions**

Half-Life : 7.17E+5 y  
Decay Mode: EC B+

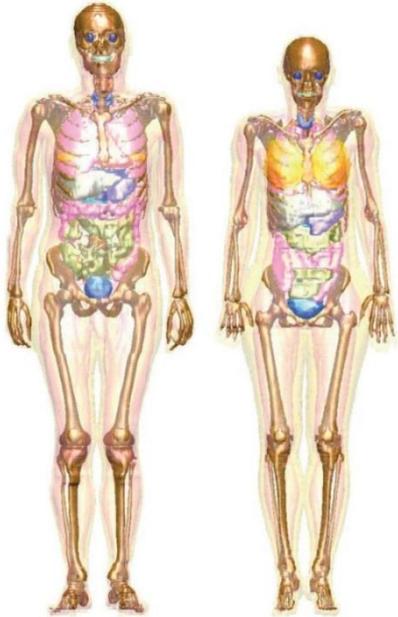
SpA = 6.839E-01 TBq/kg  
Data files: ICRP-07

Radiations	Number Records	Yield (<nt>)	Energy (MeU/<nt>)	Mean Energy (MeU)	Delta (Gy kg/<nt>)
Gamma rays	3	1.025E+00	1.840E+00	1.795E+00	2.947E-13
X rays	8	7.714E-01	1.099E-05	1.425E-05	1.761E-18
Annh photons	1	1.635E+00	8.354E-01	5.110E-01	1.339E-13
Beta +	1	8.175E-01	4.442E-01	5.434E-01	7.117E-14
IC electrons	12	5.892E-06	1.047E-05	1.777E+00	1.677E-18
Auger electrons	5	5.855E-01	2.058E-04	3.515E-04	3.297E-17
<b>Totals</b>	<b>30</b>		<b>3.119E+00</b>		<b>4.998E-13</b>

Point Source Air Kerma Coefficient = 8.87E-17 Gy m^2/(Bq s)  
Air Kerma-Rate Constant = 5.70E-17 Gy m^2/(Bq s)

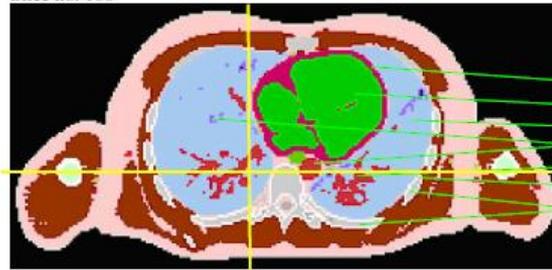
# Modèles anatomiques : fantômes voxélisés

Femme adulte de référence, 163 cm, 60 kg



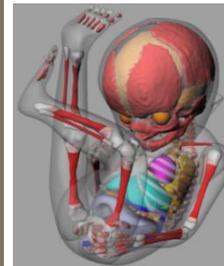
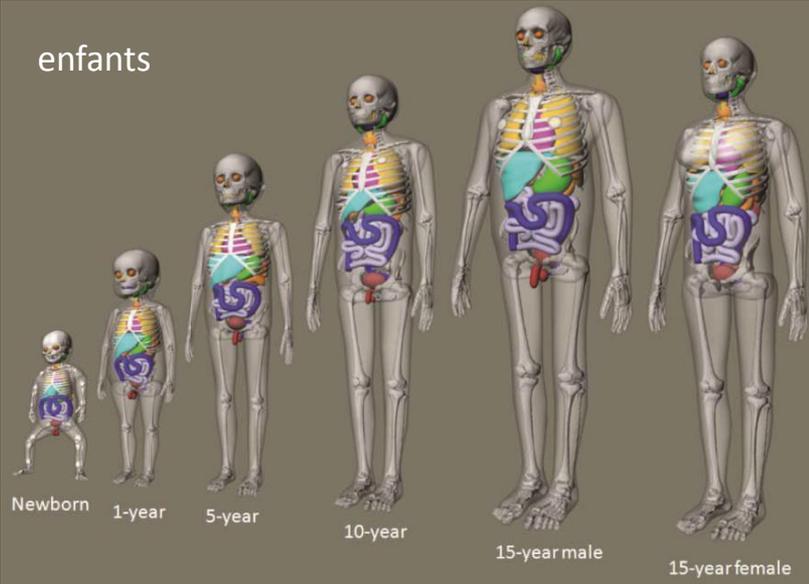
Homme adulte de référence, 176 cm, 73 kg

Slice no. 168 Coupe transverse



- Heart, wall
- Heart, contents (blood)
- Lungs, tissue
- Bronchi
- Lungs, blood
- Ribs, cortex
- Ribs, spongiosa

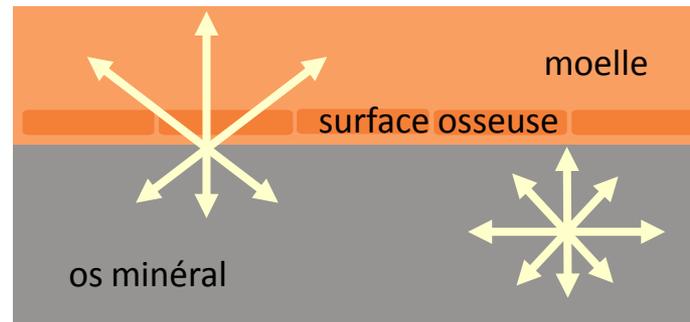
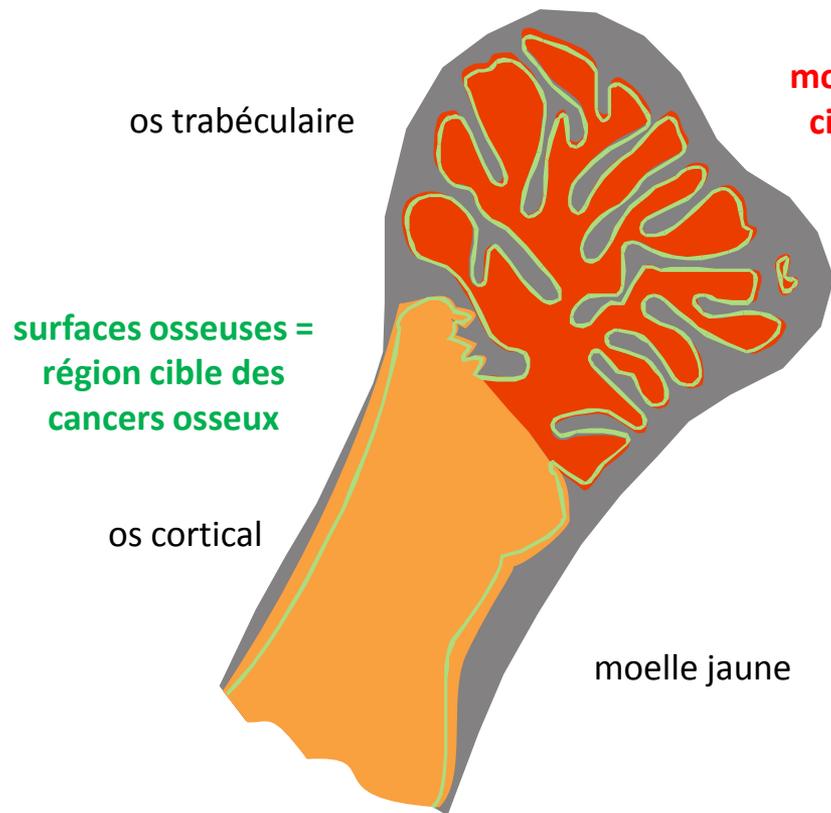
enfants



foetus

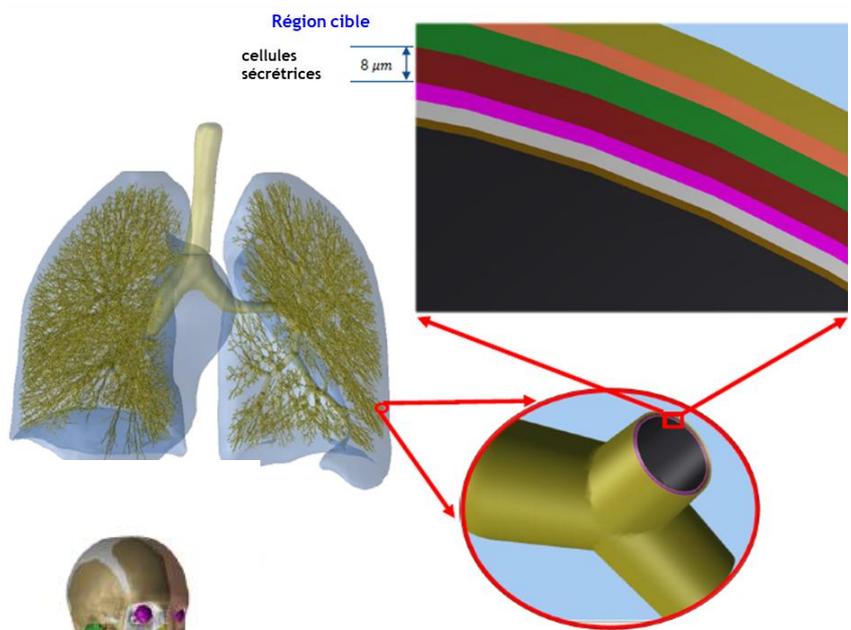
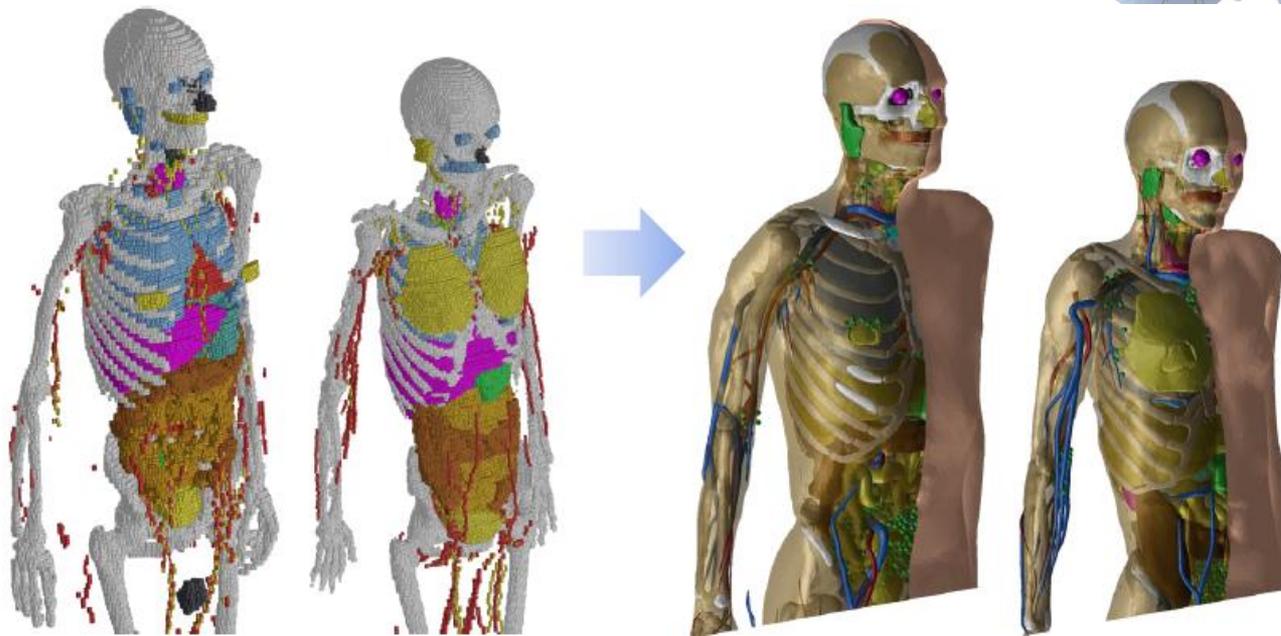


# Cellules radiosensibles dans le squelette



## Développement en cours de fantômes « mesh »

- Maillage de polygones très détaillé pour l'individu de référence CIPR incluant toutes les régions sources et cibles
- Fantômes adultes publiés. Travail en cours sur les fantômes enfants et femme enceinte.
- Seront utilisés pour les futurs coefficients de dose (femme enceinte, urgence...)





RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

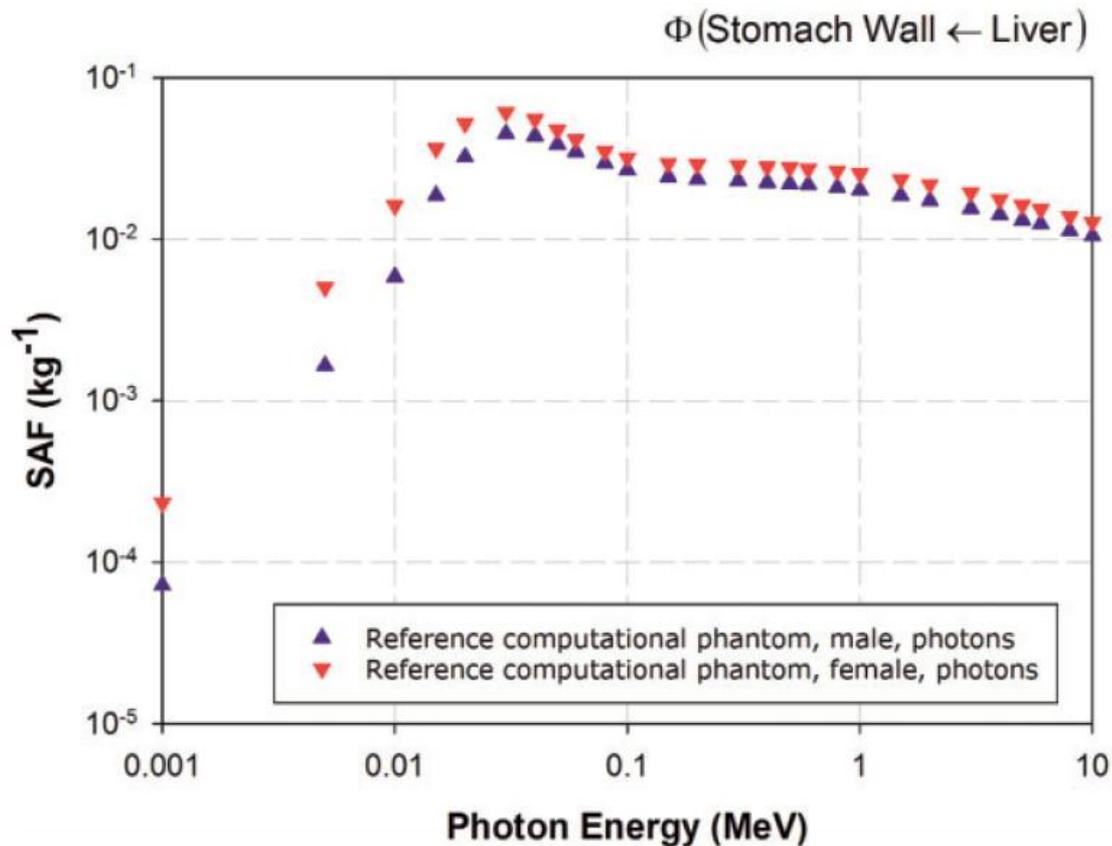
**IRSN**

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



## Exemple de résultats de simulations

- Fraction massique absorbée (SAF) dans la paroi de l'estomac de photons émis depuis le foie



# Evaluation de la dose absorbée

$$D(r_T, T_D) = \sum_{r_S} \tilde{A}(r_S, T_D) \times \sum_i Y_i E_i \Phi(r_T \leftarrow r_S, E_i)$$

modèles  
biocinétiques

données nucléaires

modèles  
dosimétriques

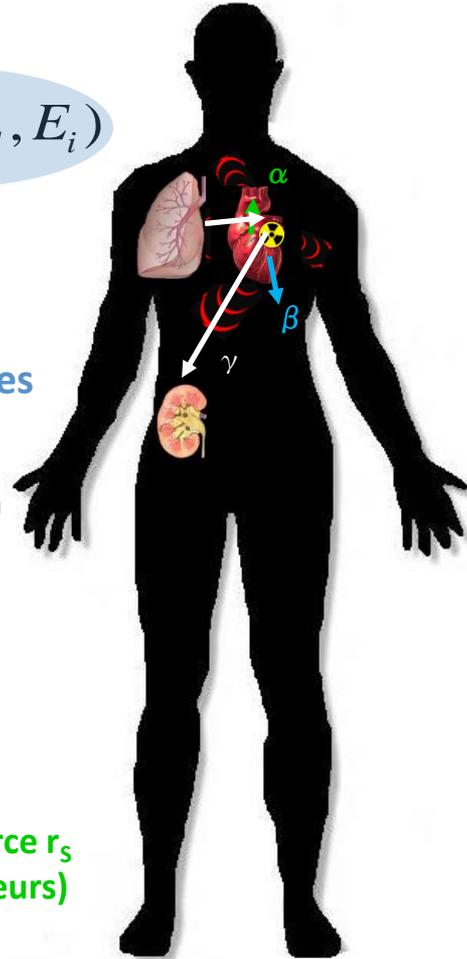
$\Phi$  Fraction massique absorbée (SAF) : proportion de l'énergie émise depuis une région source  $r_S$  qui est reçue par une région cible  $r_T$  divisée par la masse de la région cible ( $\text{kg}^{-1}$ )

$$\Phi(r_T \leftarrow r_S) = \frac{E_{r_T} / E_{r_S}}{m_T}$$

$Y_i$ : nombre de particules émises par transition nucléaire  $i$

$E_i$ : énergie de la particule  $i$

$\tilde{A}$  : nombre de transformations nucléaires dans la région source  $r_S$  pendant la période d'engagement  $T_D$  (50 ans pour les travailleurs) après incorporation



# Evaluation de la dose efficace

type de rayonnement	$w_R$
photons	1
électrons et muons	1
protons	2
particules $\alpha$ , fragments de fission, noyaux lourds	20

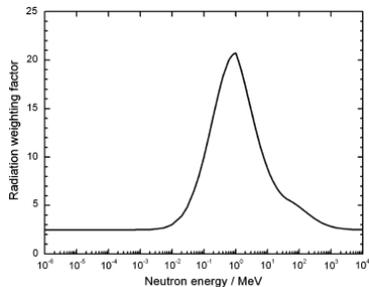


Fig. 1. Radiation weighting factor,  $w_R$ , for neutrons versus neutron energy.

organe ou tissu	$w_T$
moelle rouge	$\sum_T w_T = 1$
colon	
poumon	
estomac	
sein	
“le reste”	0,12
gonades	0,08
vessie	0,04
foie	
œsophage	
thyroïde	
peau	
glandes salivaires	0,01
cerveau	
endoste	



## Dose équivalente

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

## Dose efficace

$$E = \sum_T w_T \left[ \frac{H_T^F + H_T^M}{2} \right]$$

F: femme, H: homme

## Dose efficace engagée

$$E(50) = \int_0^{50 \text{ ans}} E(t) dt$$

“le reste” = surrénales, nez-gorge, vésicule biliaire, cœur, reins, ganglions lymphatiques, muscle, muqueuse buccale, pancréas, prostate/utérus, intestin grêle, rate, thymus

## Coefficients de dose par incorporation

### ➔ Pour convertir une activité incorporée en dose efficace engagée

$$\text{Dose efficace engagée (Sv)} = \text{activité incorporée (Bq)} \times \text{dose efficace engagée pour une activité incorporée de 1 Bq (Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}\text{)}$$

■ Coefficient de dose, aussi noté DPUI ou h(g)

■ Dépend :

- du radionucléide,
- de la voie d'incorporation (inhalation, ingestion, injection)
- de la forme physico-chimique (DAMA, type d'absorption)
- de l'âge de la personne exposée (adulte, enfants)

■ Prend complètement en compte l'exposition interne : irradiation totale due à l'activité entrée dans le corps humain.

■ Ne prend pas du tout en compte l'exposition externe : irradiation externe par l'activité présente dans l'air ambiant, dépôt sur la peau.

■ Prend en compte tous les descendants radioactifs formés à l'intérieur du corps humain.

■ Ne prend en compte aucun descendant radioactif formé à l'extérieur du corps humain : un coefficient de dose interne correspond à un seul radionucléide.

**Tableau 3.1** -Doses efficaces engagées par unité d'incorporation par inhalation et par ingestion, en Sv.Bq<sup>-1</sup>, applicables aux travailleurs exposés.

âge de référence (CIPR)	classe d'âge (arrêté)
3 mois (nourrisson)	≤ 1 an
1 an	1 - 2 ans
5 ans	2 - 7 ans
10 ans	7 - 12 ans
15 ans	12 - 17 ans
adulte	> 17 ans

Nucléide	Période physique	Inhalation				Ingestion	
		Type	f <sub>1</sub>	h(g) <sub>Ium</sub>	h(g) <sub>Sum</sub>	f <sub>1</sub>	h(g)
<b>Hydrogène</b>							
Eau tritiée	12,3 a	Doses par inhalation: voir tableau 2.1				1,000	1,8 10 <sup>-11</sup>
OBT	12,3 a	Doses par inhalation: voir tableau 2.1				1,000	4,2 10 <sup>-11</sup>
<b>Béryllium</b>							
Be-7	53,3 d	M	0,005	4,8 10 <sup>-11</sup>	4,3 10 <sup>-11</sup>	0,005	2,8 10 <sup>-11</sup>
		S	0,005	5,2 10 <sup>-11</sup>	4,6 10 <sup>-11</sup>		
Be-10	1,60 10 <sup>6</sup> a	M	0,005	9,1 10 <sup>-9</sup>	6,7 10 <sup>-9</sup>	0,005	1,1 10 <sup>-9</sup>
		S	0,005	3,2 10 <sup>-8</sup>	1,9 10 <sup>-8</sup>		
<b>Carbone</b>							
C-11	0,340 h	Doses par inhalation: voir tableau 2.1				1,000	
C-14	5,73 10 <sup>3</sup> a	Doses par inhalation: voir tableau 2.1				1,000	1,8 10 <sup>-11</sup>
<b>Fluor</b>							
F-18	1,83 h	F	1,000	2,6 10 <sup>-11</sup>	5,7 10 <sup>-11</sup>	1,000	4,9 10 <sup>-11</sup>
		M	1,000	5,7 10 <sup>-11</sup>	8,9 10 <sup>-11</sup>		
		S	1,000	6,6 10 <sup>-11</sup>	9,3 10 <sup>-11</sup>		
<b>Sodium</b>							
Na-22	2,60 a						
Na-24	15,0 h						
<b>Magnésium</b>							
Mg-28	20,9 h	F	0,500				
		M	0,500				

coefficient de dose (Sv/Bq ingéré)

f<sub>1</sub>

radionucléide

type d'absorption pulmonaire

coefficient de dose (Sv/Bq inhalé) pour un DAMA = 1 µm

coefficient de dose (Sv/Bq inhalé) pour un DAMA = 5 µm

# Choisir le bon coefficient de dose interne dans l'arrêté

1. choisir le radionucléide
2. choisir le sujet exposé : travailleur adulte ou membre du public et tranche d'âge
3. choisir la voie d'incorporation : inhalation ou ingestion

## ➤ Pour les membres du public

- Incorporation par **ingestion** :
  - Il n'existe qu'une valeur de  $f_1$  par classe d'âge
  - prendre la valeur de coefficient de dose dans le tableau 1.1
- Incorporation par **inhalation**
  - choisir la forme physique aérosol ou vapeur
  - si **vapeur**, prendre la valeur de coefficient de dose dans le tableau 2.1 suivant sa forme chimique.
  - si **aérosol**, le DAMA est de 1  $\mu\text{m}$ .
  - choisir le type d'absorption pulmonaire de l'aérosol (F, M, S) suivant sa forme chimique. En l'absence d'information spécifique, choisir le type par défaut, s'il existe, dans le tableau 1.3
  - sinon, choisir le type d'absorption suivant les indications du tableau 3.3
  - prendre la valeur de coefficient de dose dans le tableau 1.2

## ➤ Pour les travailleurs

- Incorporation par **ingestion** :
  - choisir la valeur de  $f_1$  suivant la forme chimique dans le tableau 3.2
  - prendre la valeur de coefficient de dose dans le tableau 3.1
- Incorporation par **inhalation**
  - choisir la forme physique aérosol ou vapeur
  - si **vapeur**, prendre la valeur de coefficient de dose dans le tableau 2.1 suivant sa forme chimique. NB: pour de l'iode sous forme gazeuse non spécifiée, les paramètres de l'iode élémentaire  $\text{I}_2$  sont recommandés par la publication CIPR 71
  - si **aérosol** de DAMA connu, choisir la valeur la plus proche entre 1 et 5  $\mu\text{m}$ .
  - si aérosol de DAMA inconnu, choisir 5  $\mu\text{m}$  pour le travailleur
  - choisir le type d'absorption pulmonaire de l'aérosol (F, M, S) dans le tableau 3.3, en fonction de sa forme chimique
  - prendre la valeur de coefficient de dose dans le tableau 3.1

## Sources des coefficients de dose réglementaires en 2023

Annals of the ICRP

Limits for Intakes of Radionuclides by Workers

*Pour les travailleurs*  
**Publication 30 et annexes (1979, 1980, 1981, 1988)**  
**Publications 68 et 78 (1994, 1997)**  
**Publication 119 (2012)**

Annals of the ICRP

Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1

*Pour les membres du public*  
**Publications 56, 67, 69, 71 et 72 (1989, 1993, 1995)**  
**Publications 88 et 95 (2001,2004)**  
**Publication 119 (2012)**

ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public

File General Info ICRP 68 ICRP 72 Biokinetics Help

**INTAKE**

**Radionuclides**  
 Radionuclide (eg Co-60): Co-60

Z	Element	Symbol	A	Half-life
27	Cobalt	Co	55	17.54h
27	Cobalt	Co	56	78.76d
27	Cobalt	Co	57	270.9d
27	Cobalt	Co	58	70.80d
27	Cobalt	Co	58m	9.15h
27	Cobalt	Co	60	5.271y
27	Cobalt	Co	60m	10.47m

**Subject(s)**  
 Ages at intake: Adult  
 Adult Worker  
 Public

**Intake Route(s)**  
 Aerosol size (AMAD): 1.0 microns  
 Ingestion  
 Inhalation

**OUTPUT**

**Number of Periods**  
 All  Five  Custom

1 day  
 7 days  
 30 days  
 1 year

**Organs / Tissues**  
 All  with wT  Custom

Adrenals  
 Bladder Wall  
 Bone Surface  
 Brain

**Batch File:** Load Save Delete **Command Line:** Add Remove

Cobalt (Co-60), INHL INGT SIZE(1.0) ENVI AGE(A) TEN FULL

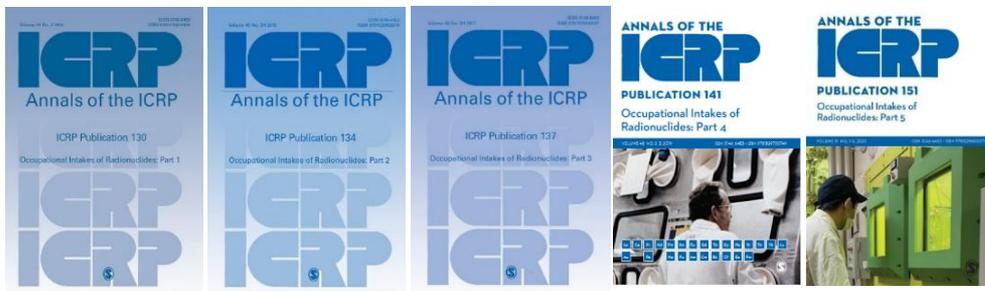
Run

Status: Finished

## Améliorations récentes

- Modèle respiratoire révisé : rétention pulmonaire à long terme, absorption plus détaillée, fraction attachée (ex. Pb, Pu)
- Modèle gastrointestinal → modèle alimentaire : dosimétrie  $\alpha$ ,  $\beta$  plus réaliste
- Modèles systémiques plus réalistes pour la plupart des éléments (ex. C, Cs, Rn, chaînes de décroissance)
- Base de données nucléaire mise à jour : plus de radioisotopes
- Fantômes stylisés → fantômes voxélisés : dosimétrie  $\beta$  ( $\gamma$ ) plus réaliste (ex. vessie), modèles homme et femme
- Dosimétrie du squelette plus réaliste : répartition de dose moëlle hématopoïétique/endoste améliorée
- Nouvelles valeurs de  $w_R$  et  $w_T$

# Révision des coefficients de dose pour les travailleurs



- Série de publications CIPR Occupationnal Intakes of Radionuclides (OIR) intègre toutes ces nouveautés
- 5 volumes de 2015 à 2022 : Publications 130 (Part 1 = modèles génériques), 134 (Part 2 = H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc), 137 (Part 3 = Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Th, U) , 141 (Part 4 = lanthanides et actinides), 151 (Part 5 = F, Na, Mg, K, Mn, Ni, Se, Ag et la plupart des autres)

Electronic Annex / OIR Data Viewer

Dose per Intake | Dose per Content & Reference Bioassay Functions | Radon

Radionuclides | Materials

Radionuclide: Pu-239

Ingested Material

- Insoluble forms: oxides,  $f_A=1E-5$
- Soluble forms: nitrate, chloride, bicarbonates, all other unidentified chemical forms,  $f_A=5E-4$

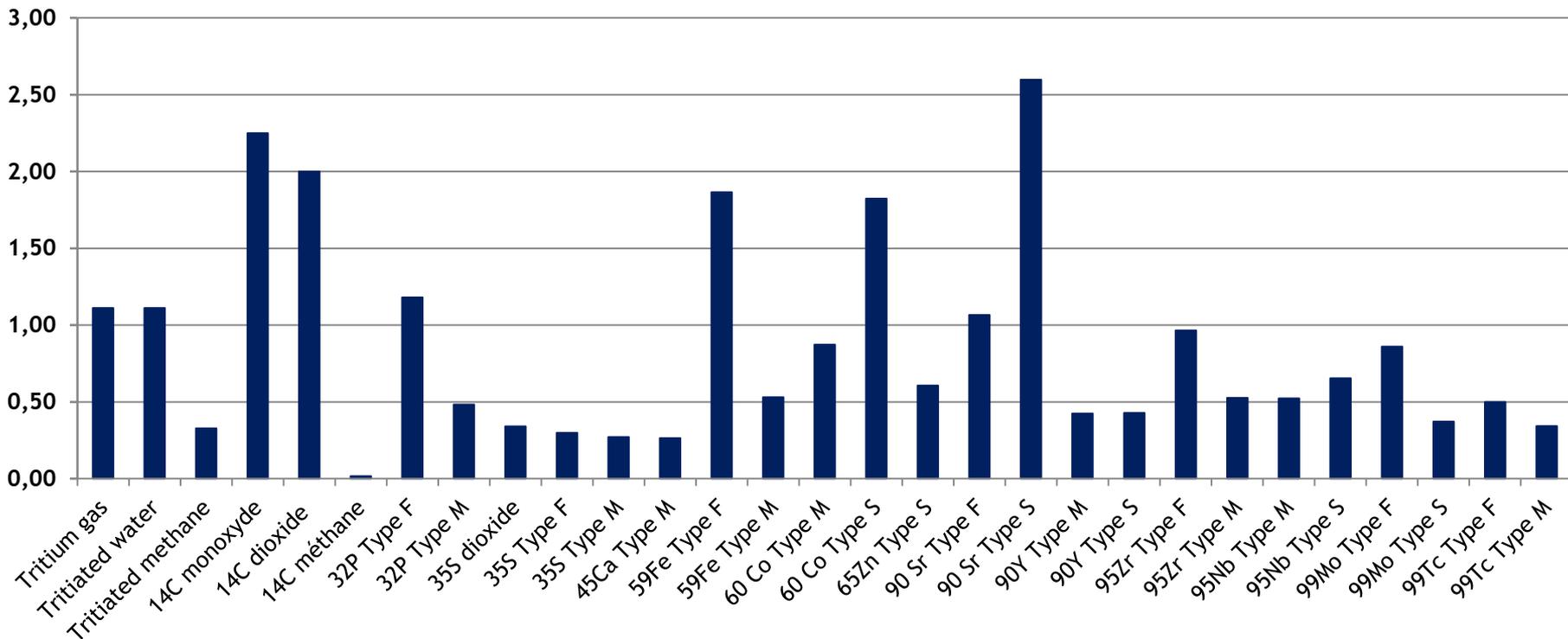
Inhaled Material

- Aerosols Type F,  $f_A=5E-4$
- Aerosols Type M, Plutonium citrate, plutonium tri-butyl-phosphate, plutonium chloride,  $f_A=1E-4$
- Aerosols Type S,  $f_A=5E-6$
- Aerosols Plutonium-239 dioxide, plutonium in mixed oxide,  $f_A=2E-6$
- Aerosols Plutonium dioxide 1-nm nanoparticles,  $f_A=3.5E-4$
- Aerosols Plutonium nitrate,  $f_A=1E-4$

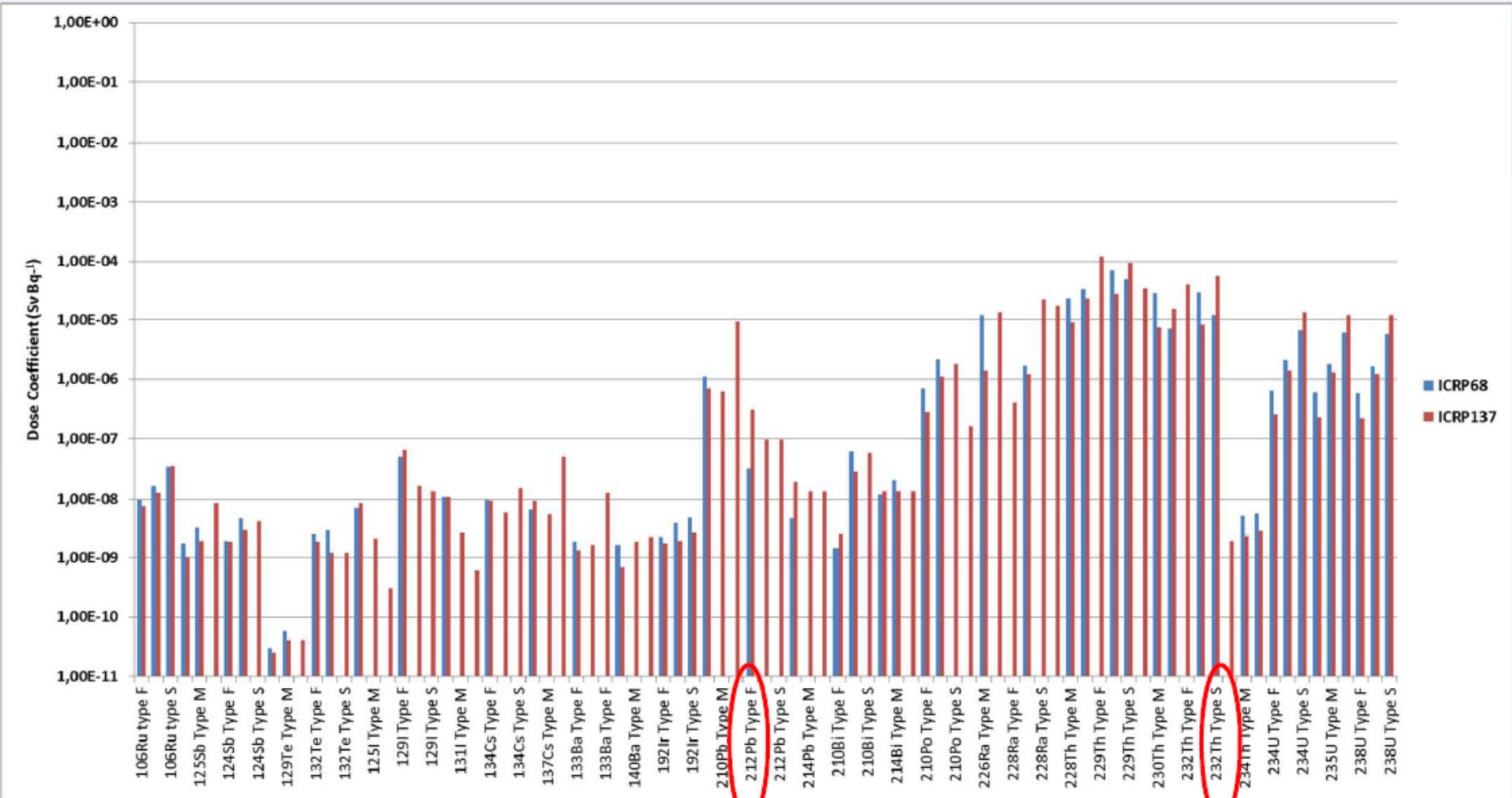
Units: Sv | Bq

Material	Dose Coefficient $e(50)$
Ingestion, Insoluble forms: oxides, $f_A=1E-5$	2.4E-9
Ingestion, Soluble forms: nitrate, chloride, bicarbonates, all other unidentified chemical forms, $f_A=5E-4$	1.2E-7
Inhalation, Aerosols Type F, $f_A=5E-4$ , 5 $\mu$ m	1.9E-5
Inhalation, Aerosols Type M, Plutonium citrate, plutonium tri-butyl-phosphate, plutonium chloride, $f_A=1E-4$ , 5 $\mu$ m	1.4E-5
Inhalation, Aerosols Type S, $f_A=5E-6$ , 5 $\mu$ m	1.7E-5
Inhalation, Aerosols Plutonium-239 dioxide, plutonium in mixed oxide, $f_A=2E-6$ , 5 $\mu$ m	2.5E-5
Inhalation, Aerosols Plutonium dioxide 1-nm nanoparticles, $f_A=3.5E-4$ , 5 $\mu$ m	1.7E-5
Inhalation, Aerosols Plutonium nitrate, $f_A=1E-4$ , 5 $\mu$ m	1.3E-5

## Comparaison des coefficients de dose entre publications CIPR 68 et 134



# Comparaison des coefficients de dose entre publications CIPR 68 et 137



## Révision des coefficients de dose pour les membres du public

- Travail en cours (2023 → 2030 ?) pour remplacer la série de publications 56, 67, 69, 71
  - Dédié aux membres du public répartis selon 6 classes d'âges (3 mois , 1, 5, 10, 15 ans, adulte)
  - Données physiologiques adaptées aux membres du public (ex. débit respiratoire spécifique) et aux différents âges (masse des tissus, taux de transfert, etc.)
  - Coefficients de dose pour environ 1200 isotopes. Pas de données de radiotoxicologie
  - Exposition par inhalation (DAMA 0,001  $\mu\text{m}$  à 20  $\mu\text{m}$ ) et ingestion.
  - Nouveaux modèles biocinétiques, compatibles avec ceux de la série travailleurs
  - Formes chimiques de l'environnement (en général idem postes de travail + formes alimentaires)
  - Données accessibles par data viewer, gratuitement sur le site de la CIPR
- 
- Part 1 = H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Ni, Zn, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Ag, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, Rn, Ra
  - Part 2 = actinides et lanthanides
  - Part 3 = autres éléments
  - Part 4 = enfant à naître
  - Part 5 = lait maternel

## Différences travailleurs / public

- Mêmes modèles → mêmes coefficients (ex. ingestion des mêmes composés chimiques)
- Formes chimiques différentes
- Coefficients souvent plus élevés chez les enfants : organes plus petits (mais élimination plus rapide des radionucléides) ; **pas de prise en compte de la variation de la radiosensibilité avec l'âge**
- Débit respiratoire plus élevé chez le travailleur → dépôt respiratoire différent. DAMA = 1  $\mu\text{m}$  pour le public (dépôt pulmonaire ↗) vs. 5  $\mu\text{m}$  pour les travailleurs (dépôt extra-thoracique ↗)

# Coefficients de dose pour le radon

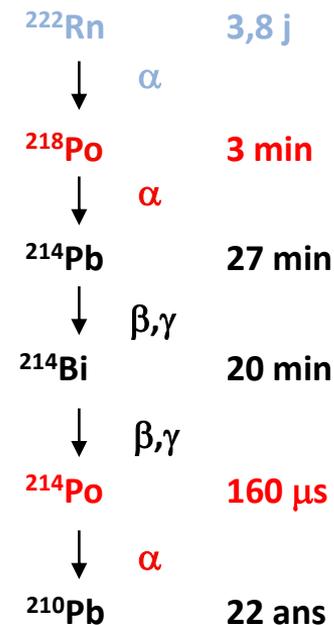
## Valeurs réglementaires en 2003

- 1,4 mSv par MJ.h.m<sup>-3</sup> sur les lieux de travail
- 1,1 mSv par MJ.h.m<sup>-3</sup> au domicile

## Grandeur d'exposition au radon et à ses descendants

- L'irradiation du poumon résulte du rayonnement alpha émis par ses descendants à vie courte. Pour un facteur d'équilibre radioactif moyen : 1 Bq → 2,22 x 10<sup>-6</sup> mJ d'énergie alpha émise.
- La dose reçue est proportionnelle à la concentration en descendants du radon dans l'air et au temps passé à respirer cet air.

## Coefficients de dose obtenus par une approche épidémiologique



## Approche épidémiologique

- L'épidémiologie des mineurs d'uranium fournit une estimation directe du risque de cancer du poumon par unité d'exposition au radon :

$$A = \text{risque} / \text{mJ.h.m}^{-3}$$

- A partir des expositions externes (Hiroshima-Nagasaki) elle fournit aussi la correspondance entre dose efficace et détriment sanitaire :

$$B = \text{détriment} / \text{mSv}$$

- Le détriment radiologique des mineurs est essentiellement égal à leur risque de décès par cancer du poumon. On obtient ainsi une conversion de l'exposition au radon en dose efficace :

$$A/B = \text{mSv} / (\text{mJ.h.m}^{-3})$$

## Révision des coefficients de dose pour le radon

- Doublement du risque estimé de cancer du poumon estimé par les études épidémiologiques récentes
- Application du modèle dosimétrique aux descendants du radon

<i>Exposition professionnelle au radon et à ses descendants</i>	Dose efficace (mSv)				Approche épidémiologique
	Activité de travail en intérieur	Activité de travail sédentaire en intérieur	Mine	Grotte touristique	
<b>1 mJ.h.m<sup>-3</sup></b>	<b>5,7</b>	<b>4</b>	<b>3,3</b>	<b>6,7</b>	<b>3,3</b>
Valeurs des paramètres dosimétriques utilisées					Suivant études mineurs des années 1990-2000
Débit respiratoire moyen	1,2 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	0,86 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	1,2 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	1,2 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	
Fraction libre	8%	8%	1%	15%	

- Recommandations : 3 mSv par mJ.h.m<sup>-3</sup> dans la plupart des situations, 6 mSv par mJ.h.m<sup>-3</sup> pour les activités physiques substantielles et les grottes touristiques

## Coefficients de dose interne non présentés ici

- Coefficients de dose par injection
  - Applicables en première approximation aux plaies contaminées (cf rapport NCRP 156)
- Coefficients de dose au patient suite à l'administration de médicaments radiopharmaceutiques
  - Doses absorbées et efficaces suivant les vecteurs des radionucléides médicaux
  - Publications CIPR 53, 80, 106, 128 et <https://www.idac-dose.org/>
- Coefficients de dose à l'enfant à naître suite à l'exposition de la mère
  - Publication CIPR 88 et Database of Dose Coefficients: Embryo and Fetus
- Coefficients de dose à l'enfant allaité
  - Publication CIPR 95 et Database for Dose Coefficients: Doses to Infants from Mothers' Milk
- Coefficients de dose en situation d'urgence
  - En préparation (TG 112)

## Références : disponibles sur [www.icrp.org](http://www.icrp.org)

- CIPR, 1979. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 1). Ann. ICRP 2 (3-4)
- CIPR, 1979. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Supplement to Part 1). Ann. ICRP 3 (1-4)
- CIPR, 1980. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 2). Ann. ICRP 4 (3-4)
- CIPR, 1981. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Supplement to Part 2). Ann. ICRP 5 (1-6)
- CIPR, 1981. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 3). Ann. ICRP 6 (2-3)
- CIPR, 1989. ICRP Publication 56, Part 1. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Ann. ICRP 20 (2)
- CIPR, 1993. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. Ann. ICRP 23 (3-4)
- CIPR, 1994. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24 (4)
- CIPR, 1995. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 3 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 69. Ann. ICRP 25 (1)
- CIPR, 1995. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 4 Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 71. Ann. ICRP 25 (3-4)
- CIPR, 1995. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72. Ann. ICRP 26 (1)
- CIPR CD1 : Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public

## Références : disponibles sur [www.icrp.org](http://www.icrp.org)

- CIPR, 1997. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers (preface and glossary missing). ICRP Publication 78. Ann. ICRP 27 (3-4)
- CIPR, 2002. Guide for the Practical Application of the ICRP Human Respiratory Tract Model. ICRP Supporting Guidance 3. Ann. ICRP 32 (1-2)
- CIPR, 2006. Human Alimentary tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 100. Ann. ICRP 36 (1-2)
- CIPR, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP 37 (2-4)
- CIPR, 2008. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38 (3)
- CIPR, 2009. Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39 (2)
- CIPR, 2015. Occupational Intakes of Radionuclides Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44 (2)
- CIPR, 2016. The ICRP Computational Framework for Internal Dose Assessment for Reference Workers: Specific Absorbed Fractions. ICRP Publication 133. Ann. ICRP 45 (2)
- CIPR, 2016. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4)
- ICRP, 2017. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4)
- CIPR, 2019. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48(1)
- CIPR, 2020. Adult mesh-type reference computational phantoms. ICRP Publication 145. Ann. ICRP 49(3)
- CIPR, 2022. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 5. ICRP Publication 151. Ann. ICRP 51 (1–2).