

# COEFFICIENTS DE DOSE INTERNE : MISE EN APPLICATION DE L'ARRÊTÉ DE NOVEMBRE 2023

Cécile Challeton – de Vathaire  
Eric Blanchardon

# Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants

- A abrogé et remplacé l'arrêté du 1er septembre 2003. Il est entré en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2024.
- Grandeurs utilisées pour le calcul de la dose efficace et de la dose équivalente résultant d'une exposition externe.
- Coefficients de dose pour le calcul de la dose efficace engagée : valeurs de dose efficace par unité d'activité incorporée de chaque radionucléide ingéré ou inhalé, h(g)
- Pour les travailleurs **nouveaux coefficients** par rapport à l'arrêté de 2003, pour prendre en compte ceux publiés par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) entre 2015 et 2022 dans la série des 5 publications OIR (Occupational Intakes of Radionuclides).
- Les coefficients de dose interne pour le public sont inchangés par rapport à 2003. La CIPR va publier de nouveaux coefficients pour le public dans la série Dose coefficients for intakes of radionuclides by members of the public.

<https://www.icrp.org/consultations.asp>

Completed May 26, 2023

**Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Members of the Public: Part 1**

[Draft Document](#) [Comments](#)

Completed August 2, 2024

**Dose coefficients for intakes of radionuclides by members of the public: Part 2**

[Draft Document](#) [Comments](#)

## Choix parmi plusieurs formes chimiques

forme chimique connue, tout sauf oxyde

pas d'hésitation

Tableau 3.1. – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée par ingestion, en Sv.Bq<sup>-1</sup>, applicables aux travailleurs exposés d'après les données des publications 134, 137, 141 et 151 de la CIPR

La mention « Composés non spécifiés » signifie qu'en l'absence d'information spécifique sur la forme chimique, le coefficient de dose indiqué sous cette mention peut être retenu par défaut.

Radionucléide	Forme chimique	h(g) (Sv.Bq <sup>-1</sup> )
<b>Sodium</b>		
Na-22	Tous composés	3,5.10 <sup>-9</sup>
Na-24	Tous composés	4,8.10 <sup>-10</sup>
<b>Magnésium</b>		
Mg-28	Oxyde	1,1.10 <sup>-9</sup>
	Autres composés composés non spécifiés	1,0.10 <sup>-9</sup>
<b>Aluminium</b>		
Al-26	Composés insolubles: oxyde, hydroxyde, sulfate, métaux Composés non spécifiés	1,2.10 <sup>-9</sup>
	Composés solubles	1,3.10 <sup>-9</sup>

composés non spécifiés =  
forme chimique inconnue  
= choix par défaut

Radionucléide	Type	Forme chimique	h(g) (Sv.Bq <sup>-1</sup> )	
			5 µm	1 µm
<b>Hydrogène</b>				
H-3	A. F	Hydru de LaNiAl	1,3.10 <sup>-11</sup>	8,6.10 <sup>-12</sup>
	A. M	Fragments de verre, peinture luminescente, hydru de titane, hydru de zirconium, autres composés et composés non spécifiés	2,4.10 <sup>-11</sup>	4,3.10 <sup>-11</sup>
	A. S	Hydru de carbone, hydru d'hafnium	2,6.10 <sup>-10</sup>	5,2.10 <sup>-10</sup>
	A. Spé.	Composés organiques biogéniques	3,5.10 <sup>-11</sup>	2,3.10 <sup>-11</sup>
	G-V. V	Méthane tritié	5,9.10 <sup>-14</sup>	
G-V. V	Eau tritié	2,0.10 <sup>-11</sup>		
G-V. V	Tritium gazeux (formule chimique : HT)	2,0.10 <sup>-15</sup>		
<b>Iode</b>				
I-118	A. F	Iodure de sodium, iode vectorisé par du chlorure de césium, iodure d'argent, autres composés et composés non spécifiés	2,3.10 <sup>-11</sup>	1,6.10 <sup>-11</sup>
	A. M	Pas de forme chimique particulière assignée	3,0.10 <sup>-11</sup>	2,1.10 <sup>-11</sup>
	A. S	Pas de forme chimique particulière assignée	3,0.10 <sup>-11</sup>	2,2.10 <sup>-11</sup>
	G-V. V	Iodure de méthyle, iodure d'éthyle	2,2.10 <sup>-11</sup>	
	G-V. F	Iode élémentaire, autres composés et composés non spécifiés	8,5.10 <sup>-11</sup>	

aérosol type F

aérosol avec paramètres de solubilité spécifiques

DAMA = 5 µm par défaut pour les travailleurs ; ajustement possible si information spécifique

une valeur par défaut pour les aérosols et une autre pour les vapeurs

formes gaz et vapeurs - types d'absorption F (rapide) et V (instantanée)

On ne connaît pas de forme chimique du plutonium se comportant comme un type F. La valeur est donnée au cas où de nouvelles formes seraient caractérisées ou pour faire une analyse de sensibilité plus théorique,

Radionucléide	Type	Forme chimique	h(g) (Sv.Bq <sup>-1</sup> )	
			5 μm	1 μm
Pu-238	A. F	Pas de forme chimique particulière assignée	1,8.10 <sup>-5</sup>	3,0.10 <sup>-5</sup>
	A. M	Citrate de plutonium, tributyl phosphate de plutonium, chlorure de plutonium, autres composés, composés non spécifiés	1,2.10 <sup>-5</sup>	2,3.10 <sup>-5</sup>
	A. S	Pas de forme chimique particulière assignée	1,7.10 <sup>-5</sup>	2,9.10 <sup>-5</sup>
	A. Spé. N°1	Dioxyde de Pu-238 sous forme de céramique	1,1.10 <sup>-5</sup>	1,9.10 <sup>-5</sup>
	A. Spé. N°2	Dioxyde de Pu-239, plutonium dans des oxydes mixtes	2,3.10 <sup>-5</sup>	4,1.10 <sup>-5</sup>
	A. Spé. N°3	Dioxyde de plutonium sous forme de nanoparticules de 1 nanomètre	1,6.10 <sup>-5</sup>	2,8.10 <sup>-5</sup>
	A. Spé. N°4	Nitrate de plutonium	1,2.10 <sup>-5</sup>	2,1.10 <sup>-5</sup>
	A. Spé. N°5	Dioxyde de Pu-238 non sous forme de céramique	1,1.10 <sup>-5</sup>	1,9.10 <sup>-5</sup>

forme chimique inconnue, valeur par défaut pour le Pu-238

forme chimique connue mais non mentionnée dans ce tableau

trois cas pour le PuO<sub>2</sub> : céramique, non céramique, ou dans le MOX

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

1. choisir le radionucléide
2. choisir le sujet exposé : travailleur
3. choisir la voie d'incorporation : inhalation ou ingestion

## Incorporation par **ingestion** :

- choisir la forme chimique dans le tableau 3.1. En l'absence d'information spécifique, choisir « composés non spécifiés » ou « tous composés »
- prendre la valeur de coefficient de dose dans le tableau 3.1

## Incorporation par **inhalation**

- choisir la forme physique aérosol ou vapeur
- 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 ou de la vapeur (A.F, A.M, A.S, A. Spé, G-V. V, G.V. F) dans le tableau 3.2, en fonction de sa forme chimique
- prendre la valeur de coefficient de dose dans le tableau 3.2 . En l'absence d'information spécifique, choisir « composés non spécifiés »

## Utilisation des coefficients de dose interne

$$\begin{array}{l} \text{dose efficace engagée} \\ \text{(Sv)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{activité incorporée} \\ \text{(Bq)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{coefficient de dose} \\ \text{(Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}) \end{array}$$

■ coefficient de dose = dose efficace engagée pour une activité incorporée de 1 Bq

■ 2 utilisations principales:

- Etude de poste : évaluation de la dose susceptible d'être reçue par un travailleur
- Calcul de la dose reçue à partir d'une mesure positive de la contamination interne (anthroporadiométrie ou analyse radiotoxicologique des excréta)

Débit respiratoire ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )

↓

Activité volumique ( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )                      Durée d'exposition (h)

↙    ↓    ↘

activité incorporée

$$I = A_{vol} \times D_{resp} \times t_{expo}$$

- Activité volumique mesurée ou calculées à partir de l'activité manipulée, des facteurs de remise en suspension, des EPI
- Débit respiratoire par défaut chez le travailleur ( $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ )
- Durée d'exposition = nombre d'heure d'exposition dans l'année pour un calcul de la dose efficace engagée annuelle

## Calcul de la dose interne à partir d'une mesure positive

Mesure de  
l'activité retenue  
ou excrétée



activité incorporée (Bq) =  $\frac{\text{Activité mesurée } t \text{ jours après la contamination (Bq ou Bq.j}^{-1}\text{)}}{\text{Fraction retenue/excrétée pour 1 Bq incorporé } t \text{ jours après la contamination}}$

t = nombre de jours entre la contamination et la réalisation de la mesure anthroporadiométrique (fraction retenue) ou la collecte des selles ou des urines (fraction excrétée)

## Calcul de la dose interne à partir d'une mesure positive

- Ces fractions sont calculées par la CIPR à partir des modèles biocinétiques.
- Les modèles ayant été revus dans les publications OIR, **de nouvelles fractions** ont été calculées
- Les fractions retenues/excrétées en fonction du temps ne figurent pas dans l'arrêté du 16 novembre 2023

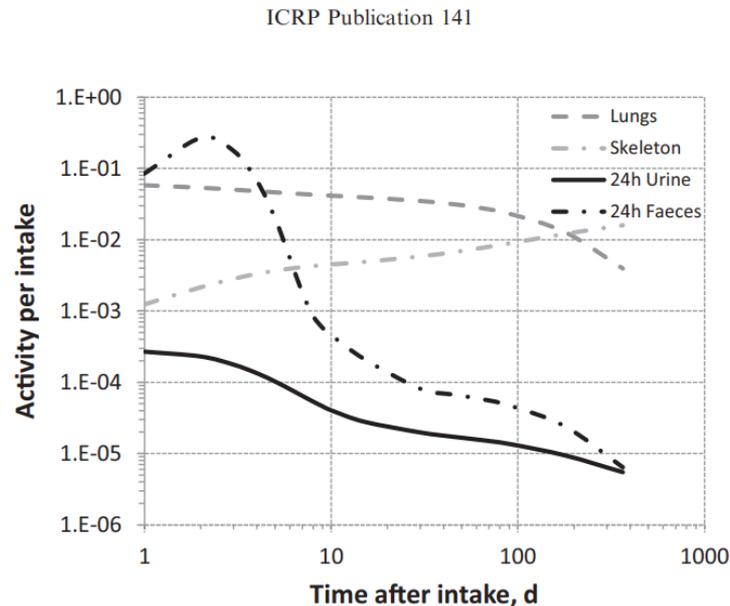


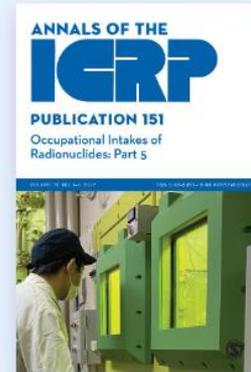
Fig. 23.3. Daily excretion of  $^{241}\text{Am}$  following inhalation of 1 Bq Type M.

## Calcul de la dose interne à partir d'une mesure positive

- Fractions de rétention et d'excrétion et coefficients de dose disponibles dans l'application « ICRP Data Viewer » téléchargeable gratuitement sur le site de la CIPR :

<https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20151>

- Cliquer sur OIR Electronic Annex Distribution Set



[Buy from SAGE](#)

#### Other Resources

[OIR Electronic Annex Distribution Set](#)

[Resolution of Comments](#)

## Calcul de la dose interne à partir d'une mesure positive

### Exemple

anthroporadiométrie : 180 Bq de césium  
137 (mesure corps entier réalisée 10  
jours après l'incorporation)

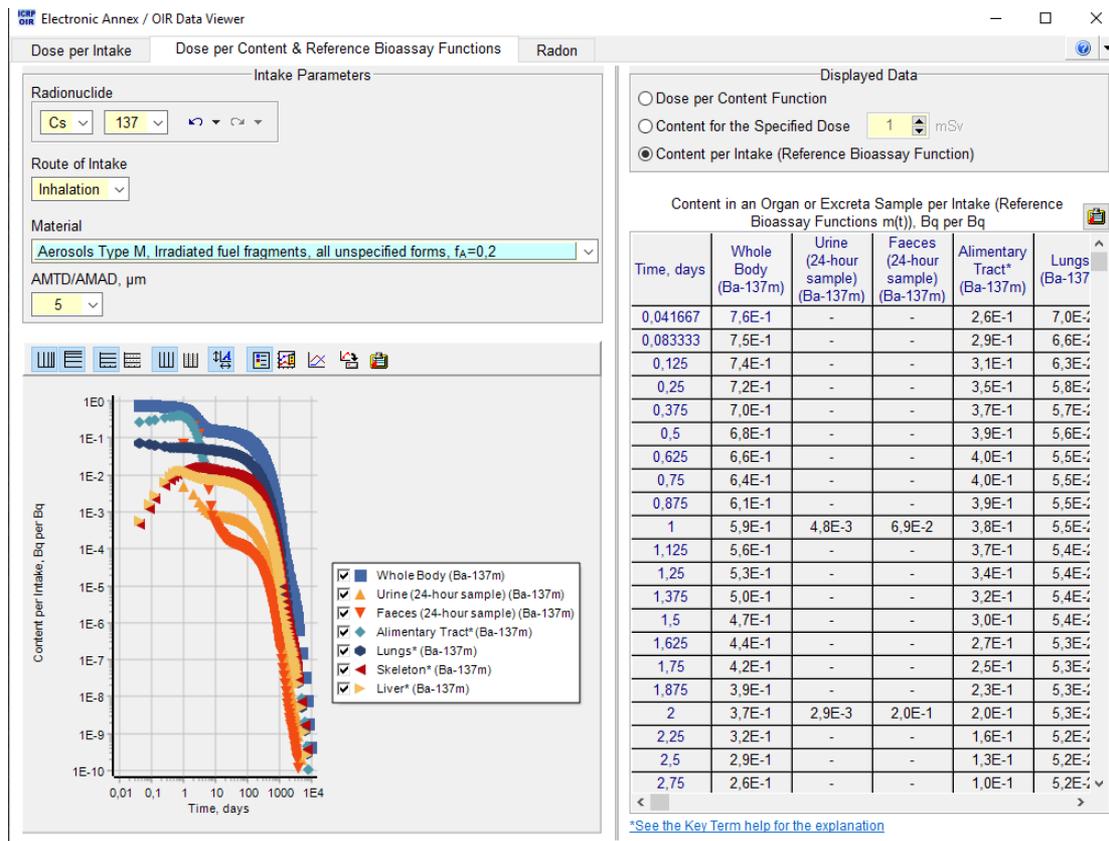


Crédit : Noak/Le bar Floréal/Médiathèque IRSN

# Calcul de la dose interne à partir d'une mesure positive

## OIR data viewer

- Coefficients de dose efficace par activité incorporée
- Coefficients de dose équivalente à chaque organe (homme et femme)
- Fractions retenues et excrétées de l'activité incorporée
- Coefficients de dose efficace par activité mesurée dans le corps ou dans les excréta
- pour l'injection, l'ingestion, l'inhalation
- pour toutes les formes chimiques vapeurs et aérosol de 11 DAMA (1 nm à 20 µm)



\*See the Key Term help for the explanation

## Calcul de la dose interne à partir d'une mesure positive

anthroporadiométrie : 180 Bq de césium 137 (mesure corps entier réalisée 10 jours après l'incorporation)

OIR Data Viewer

Radionuclide	Cs-137		
Route of Intake	Inhalation		
Material	Aerosols Type M, Irradiated fuel fragments, all unspecified forms, fA=0.2		
AMTD/AMAD, $\mu\text{m}$	5		
Content in an Organ or Excreta Sample per Intake (Reference Bioassay Functions m(t)), Bq per Bq			
Time, days	Whole Body (Ba-137m)	Urine (24-hour sample) (Ba-137m)	Faeces (24-hour sample) (Ba-137m)
1	5.90E-01	4.80E-03	6.90E-02
2	3.70E-01	2.90E-03	2.00E-01
3	2.30E-01	1.80E-03	1.30E-01
4	1.80E-01	1.40E-03	4.80E-02
5	1.70E-01	1.20E-03	1.40E-02
6	1.60E-01	1.00E-03	4.10E-03
7	1.60E-01	9.40E-04	1.40E-03
8	1.60E-01	8.90E-04	7.50E-04
9	1.60E-01	8.50E-04	5.50E-04
10	1.60E-01	8.30E-04	4.60E-04
11	1.60E-01	8.10E-04	4.00E-04
12	1.50E-01	7.90E-04	3.50E-04

$$\text{Activité incorporée} = 180 \text{ Bq} / 0,16 = 1125 \text{ Bq}$$

## Calcul de la dose interne à partir d'une mesure positive

Tableau 3.2. – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée par inhalation, en Sv.Bq<sup>-1</sup>, applicables aux travailleurs exposés, d'après les données des publications 134, 137, 141 et 151 de la CIPR

Radionucléide	Type	Forme chimique	h(g) (Sv.Bq <sup>-1</sup> )	
			5 µm	1 µm
Cs-137	A. F	Chlorure, nitrate et sulfate de césium	9,3.10 <sup>-9</sup>	6,0.10 <sup>-9</sup>
	A. M	Fragments de combustible irradié, autres composés et composés non spécifiés	5,6.10 <sup>-9</sup>	7,9.10 <sup>-9</sup>
	A. S	Pas de forme chimique particulière assignée	5,1.10 <sup>-8</sup>	9,7.10 <sup>-8</sup>

$$\text{Dose efficace engagée} = 1125 \text{ Bq} \times 5,6 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq} = 6300 \cdot 10^{-9} \text{ Sv} \approx 6,3 \mu\text{Sv}$$

# Coefficients de dose pour le radon

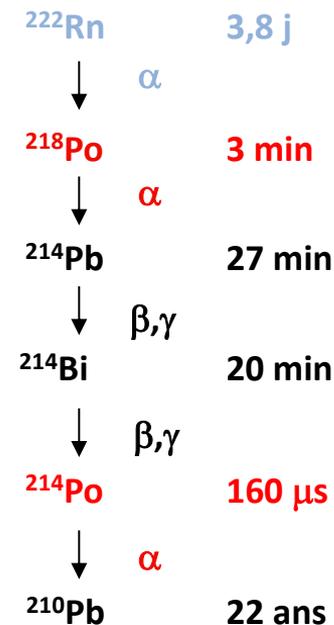
## Valeurs réglementaires en 2024

- 3 Sv par J.h.m<sup>-3</sup> à domicile
- 3 Sv par J.h.m<sup>-3</sup> sur les lieux de travail en intérieur où les travailleurs ont une activité majoritairement sédentaire (secteur tertiaire, bureaux...)
- 6 Sv par mJ.h.m<sup>-3</sup> sur les lieux de travail en intérieur où les travailleurs ont une activité majoritairement non sédentaire (activité physique significative: travaux, maintenance, entretien...)

## 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 combinaison d'approches épidémiologique et dosimétrique



## Calcul de dose pour le radon

### À partir de l'exposition

- dose efficace (Sv) = coefficient de dose (Sv par J.h.m<sup>-3</sup>) x énergie alpha potentielle volumique des descendants (J.m<sup>-3</sup>) x temps d'exposition (h)
- dose efficace (Sv) = coefficient de dose (Sv par J.h.m<sup>-3</sup>) x facteur d'équilibre x activité volumique du gaz radon (Bq.m<sup>-3</sup>) x 5,56.10<sup>-9</sup> (J.Bq<sup>-1</sup>) x temps d'exposition (h)
- Pour un facteur d'équilibre F = 0,4 :
- dose efficace (Sv) = coefficient de dose (Sv par J.h.m<sup>-3</sup>) x activité volumique du gaz radon (Bq.m<sup>-3</sup>) x 2,22.10<sup>-9</sup> (J.Bq<sup>-1</sup>) x temps d'exposition (h)

## Les coefficients de dose efficace engagée

- Les coefficients de dose efficace engagée découlent:
  - des **modèles biocinétiques** qui décrivent le devenir des radionucléides après leur inhalation ou leur ingestion
  - des **modèles dosimétriques**
  - des **données nucléaires**

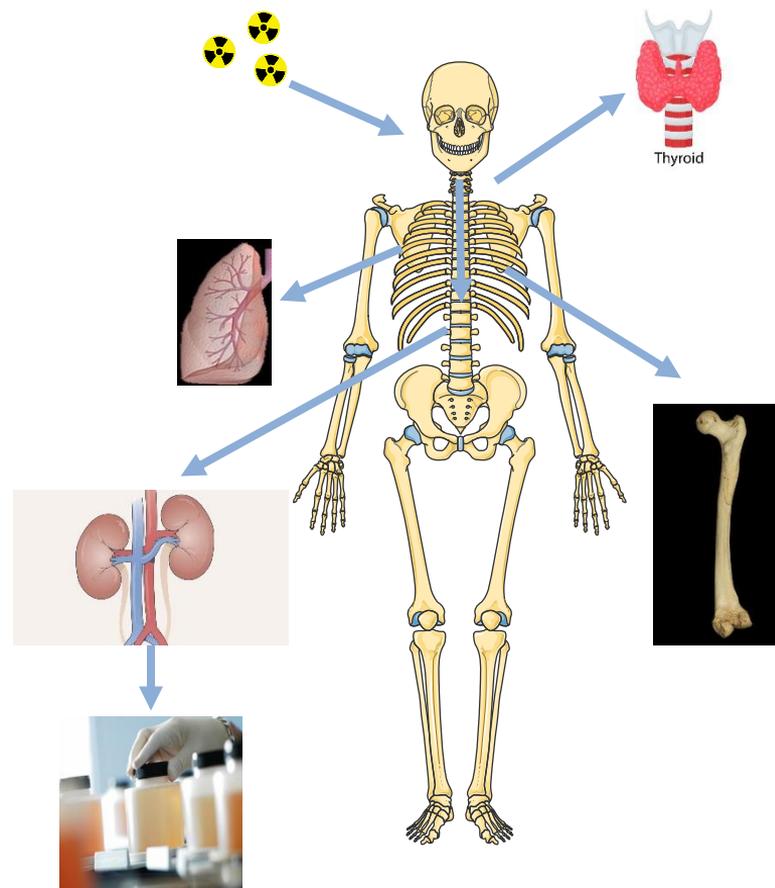
$$D_{T,R} = D(r_T, T_D) = \sum_{r_S} \tilde{A}(r_S, T_D) \times \sum_i Y_i E_i \Phi(r_T \leftarrow r_S, E_i)$$

- des **facteurs de pondération**  $W_R$  et  $W_T$   $D_{T,R} \longrightarrow E(50)$

- Ces modèles et ces paramètres sont publiés par la CIPR

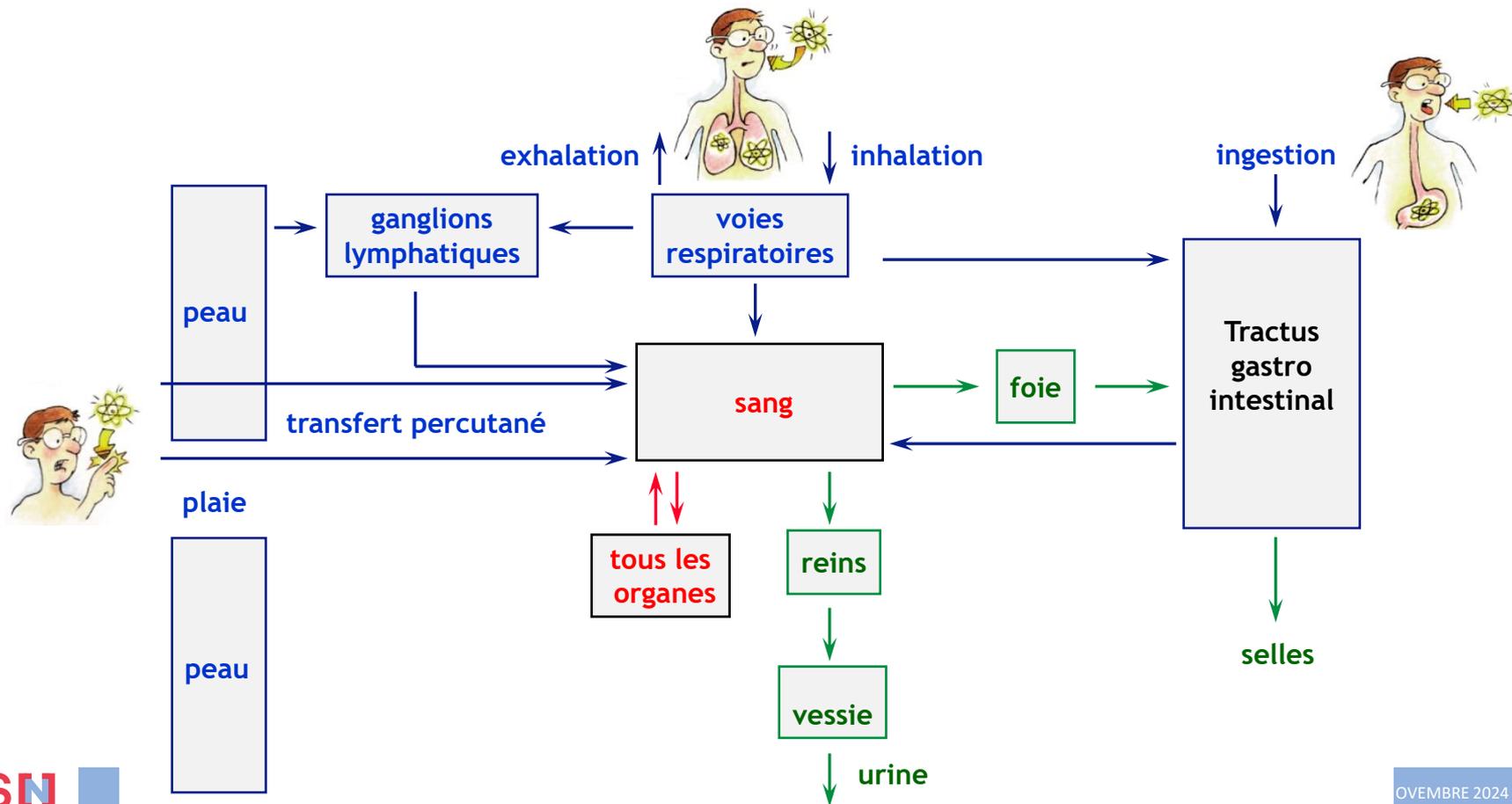
## Modèles biocinétiques de la CIPR

- Ils décrivent l'absorption, la biodistribution et l'élimination des radionucléides dans le corps humain.
- Ils prédisent la rétention dans les organes/tissus au cours du temps.
- Ils indiquent :
  - Les organes/tissus irradiés par les radionucléides.
  - La durée d'irradiation des organes/tissus.



# Modèles biocinétiques

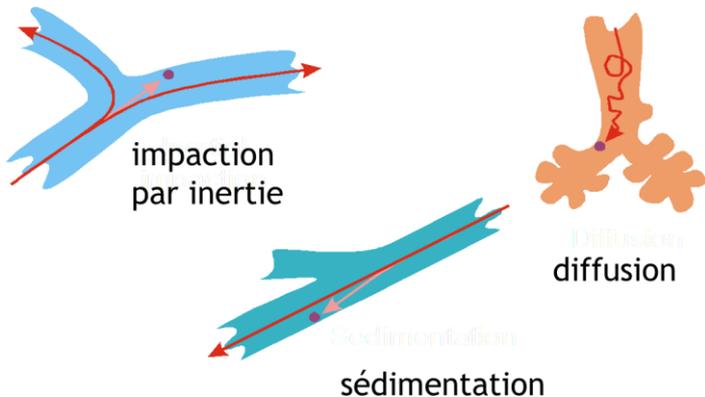
Les modèles des voies d'entrée dépendent du mode d'incorporation et des propriétés physico-chimiques de la substance incorporée. Les modèles systémiques et les voies d'excrétion dépendent de l'élément chimique.



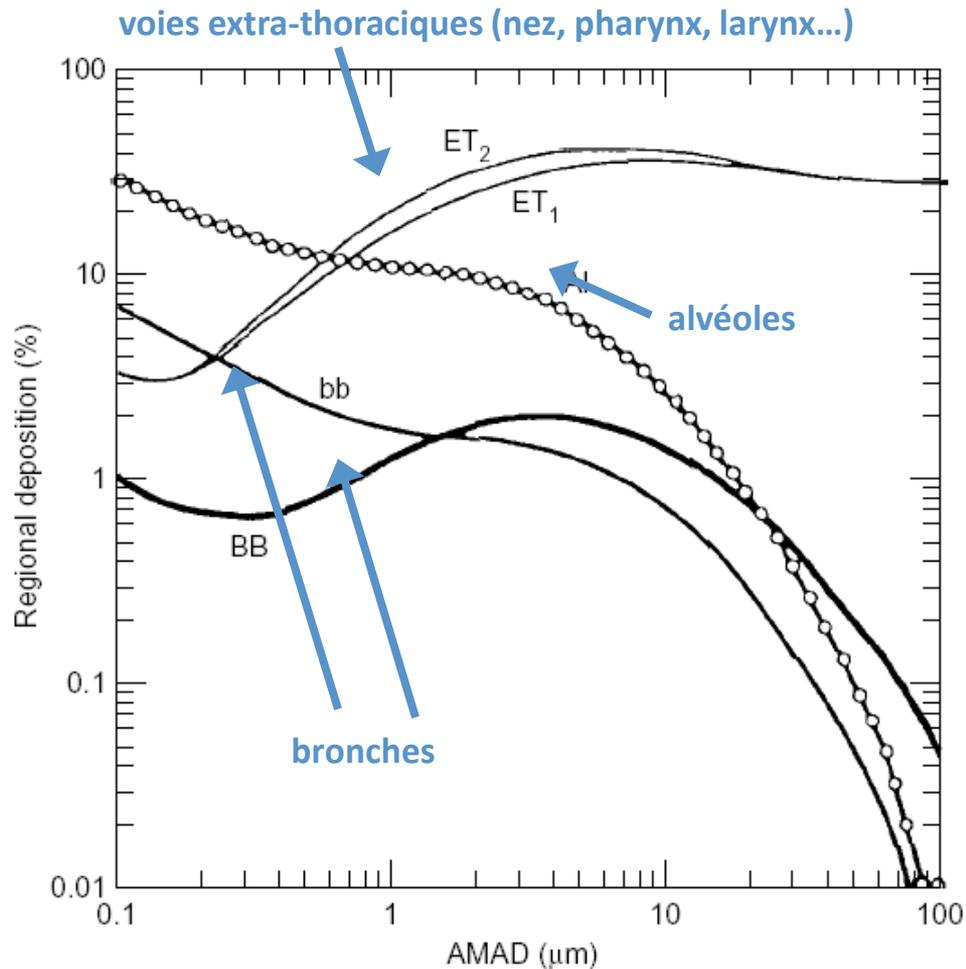


## Modèle respiratoire humain

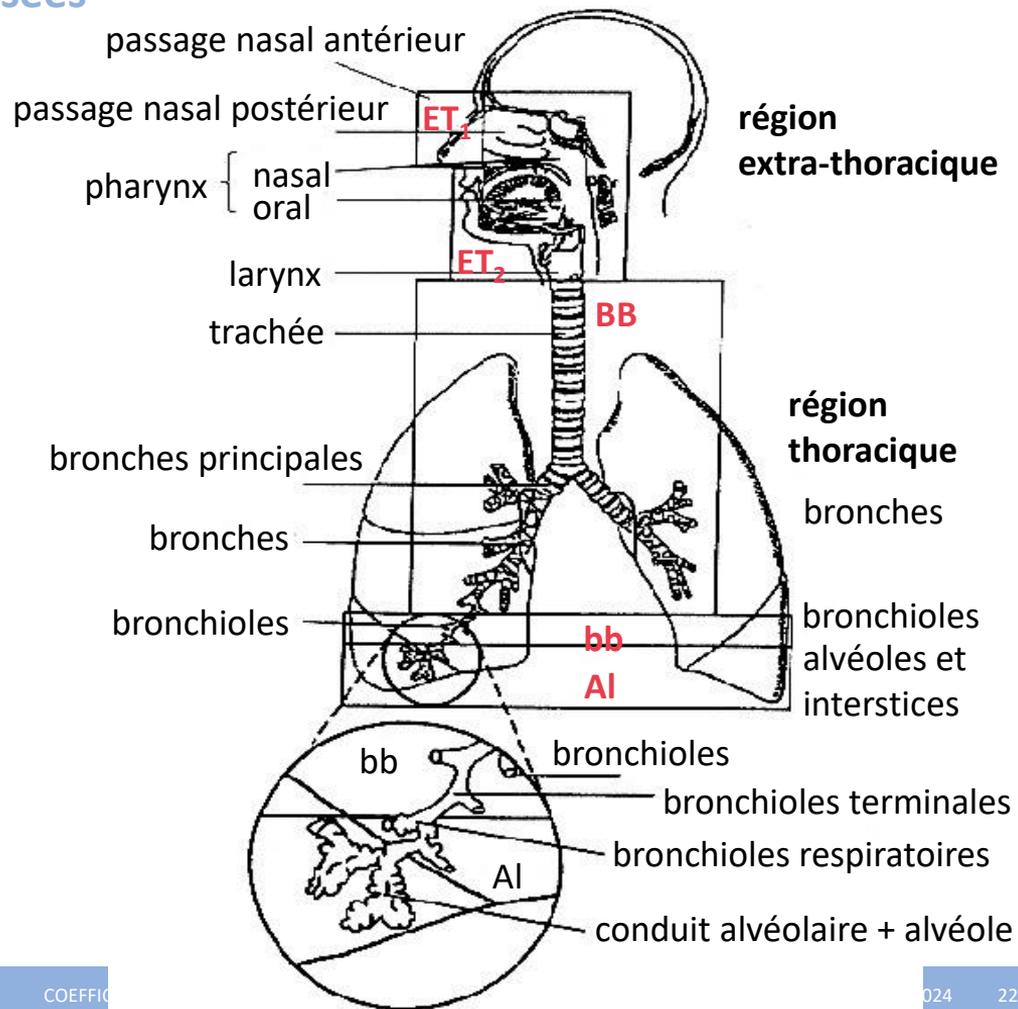
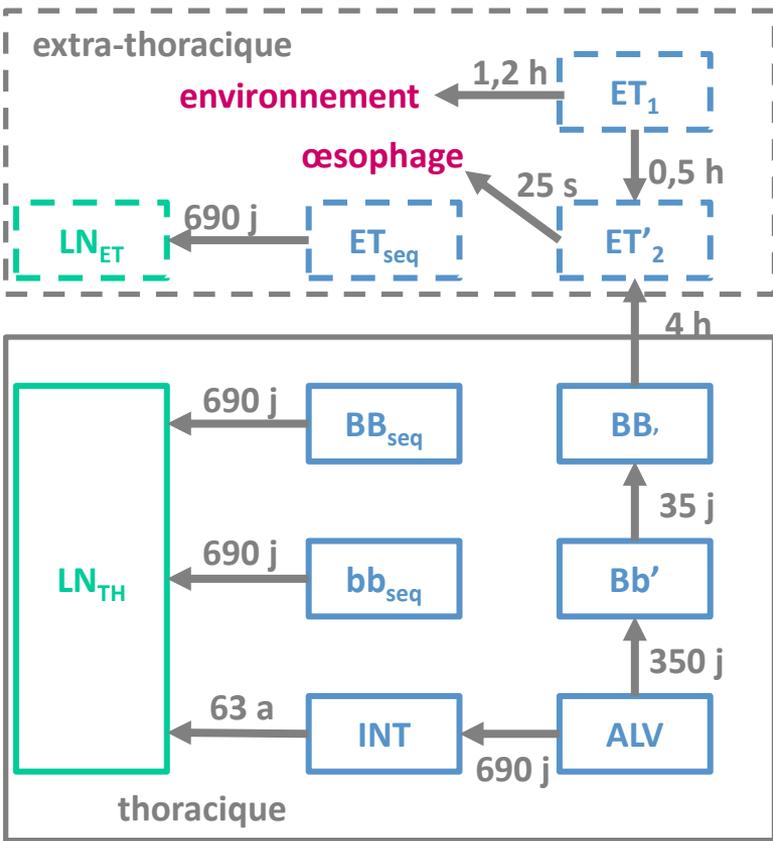
➔ Dépôt des particules inhalées dans les voies respiratoires suivant leur taille



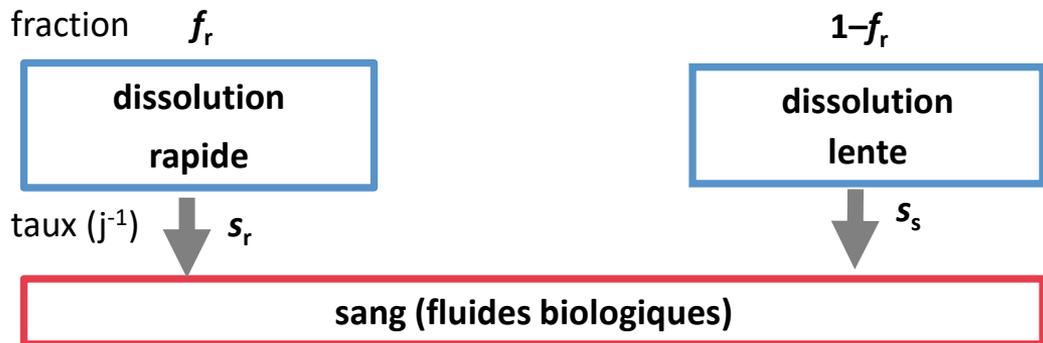
Les particules fines se déposent dans le poumon profond. Les plus grosses particules se déposent dans les voies extra-thoraciques.



# Epuration mécanique des particules déposées



## Absorption vers le sang

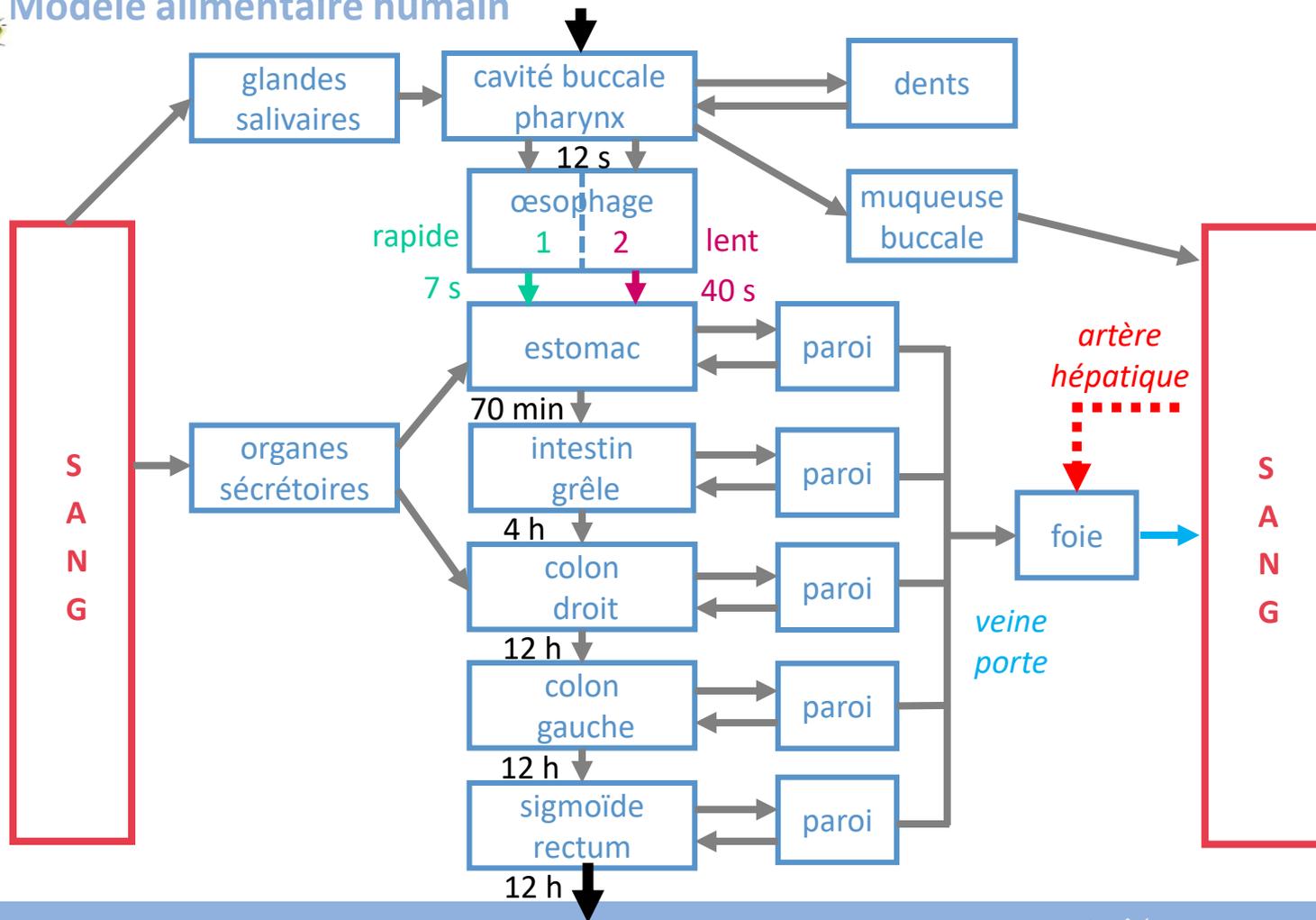


### ➤ Types d'absorption de référence F, M, S suivant la forme chimique du radionucléide

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

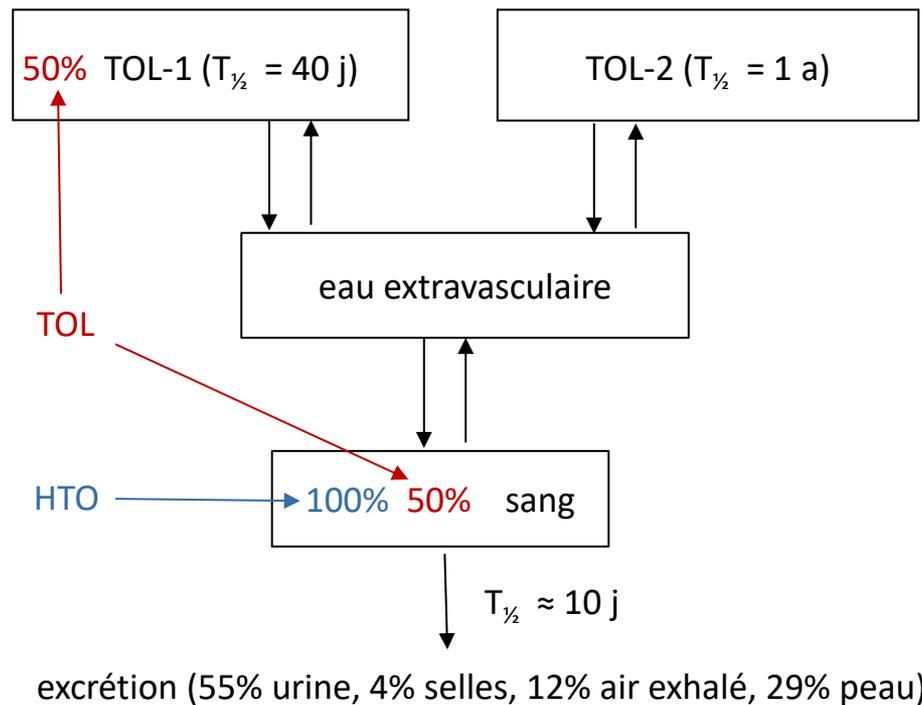


# Absorption intestinale

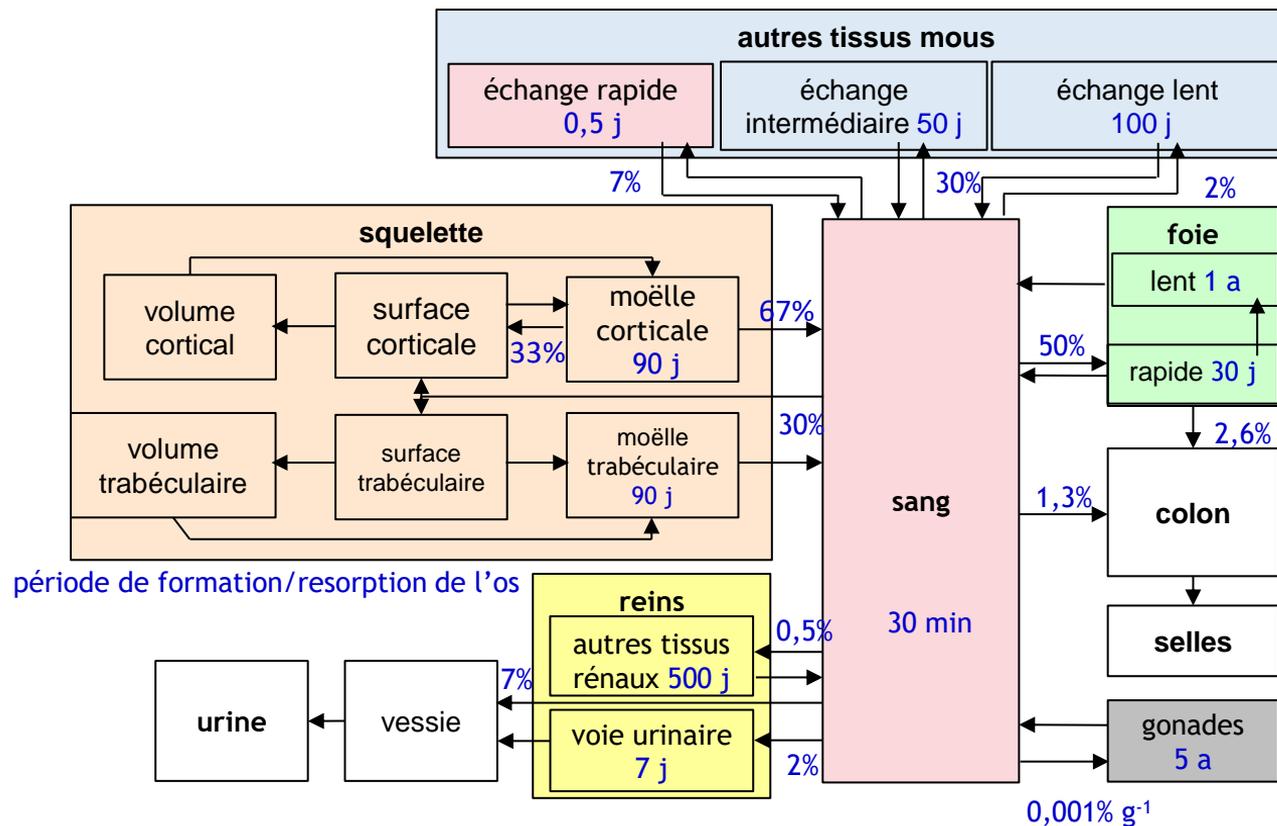
**$f_A (f_1)$**  = fraction absorbée vers le sang de l'activité ingérée

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



# Modèle systémique de l'iode

ICRP Publication 78, 1997

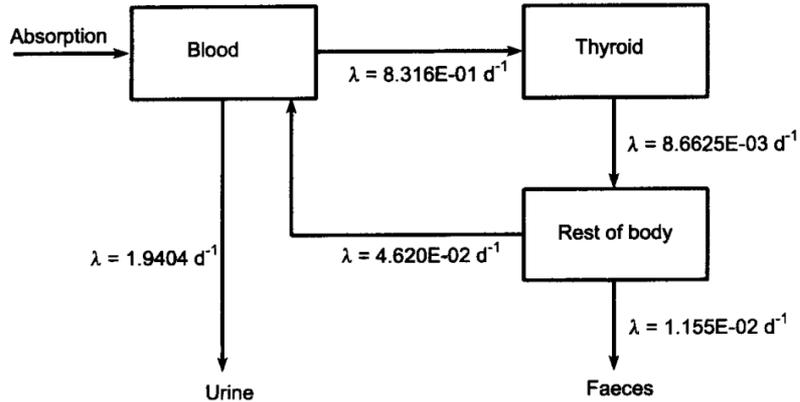
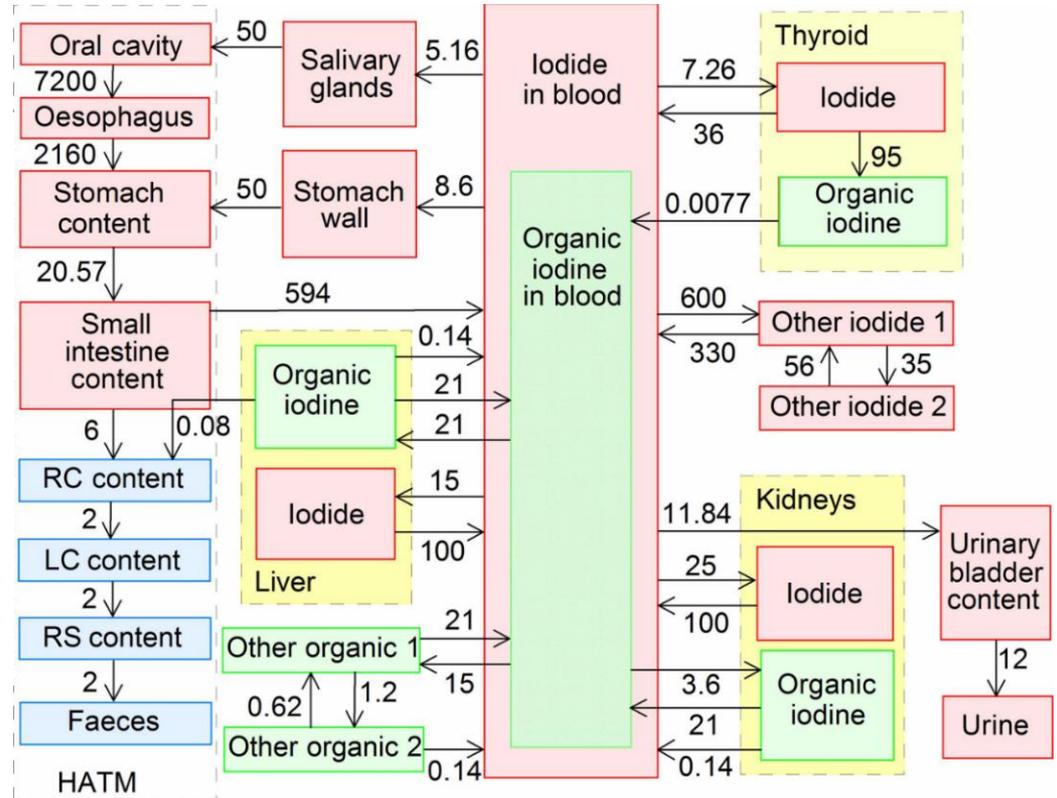


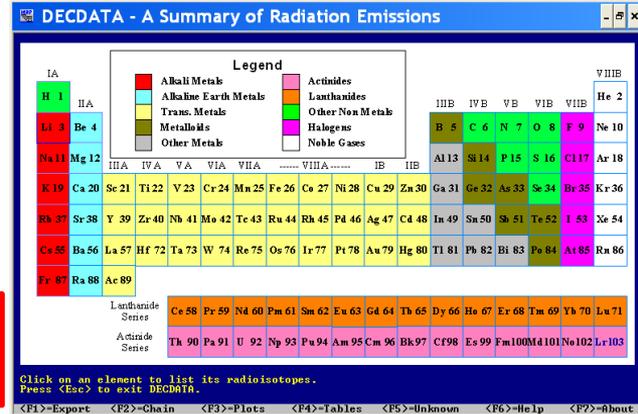
Fig. A.6.1. Biokinetic model for iodine metabolism.

ICRP Publication 137, 2017 (OIR part 3)



# 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+

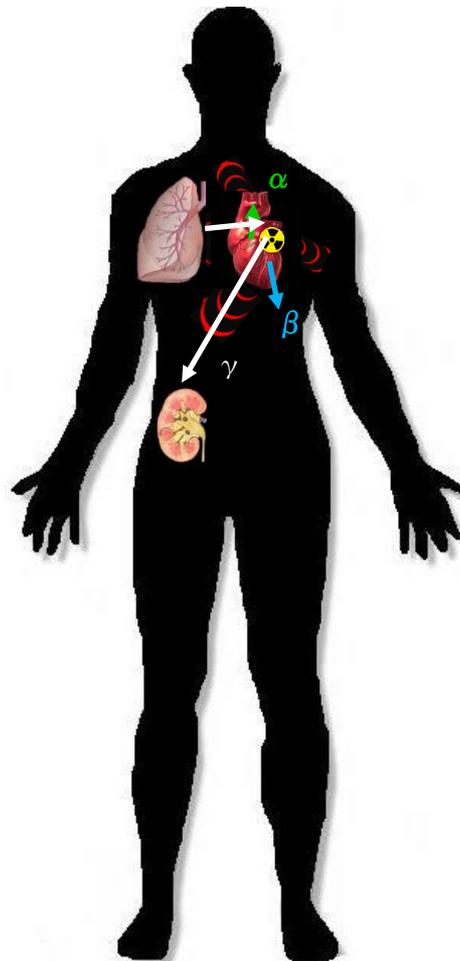
SpA = 6.839E-01 TBq/kg  
Data files: ICRP-07

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>

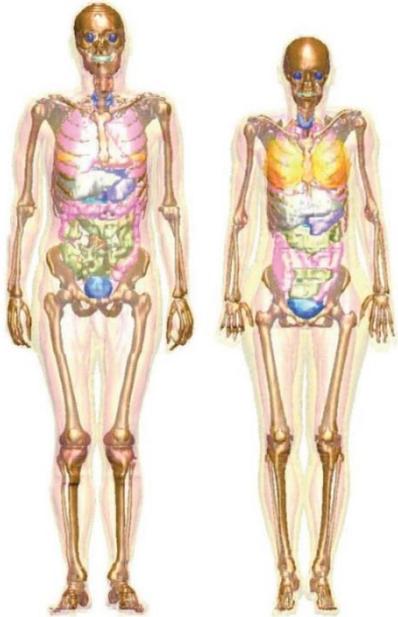
## Modèles dosimétriques de la CIPR

- Ils décrivent l'irradiation de chaque organe en fonction des radionucléides retenus dans cet organe et dans les autres
- Des fantômes représentent la position, la géométrie, la densité et la masse moyennes des organes du corps humain sous forme numérique pour le calcul dosimétrique



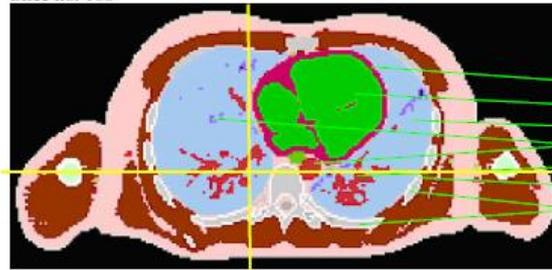
# Modèles anatomiques : fantômes voxélisés

Femme adulte de référence, 163 cm, 60 kg



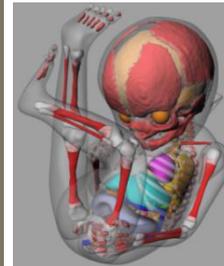
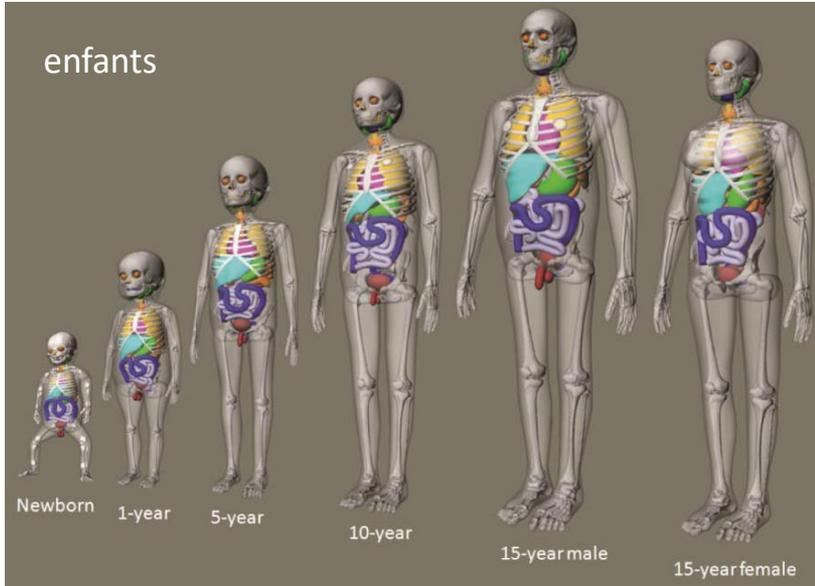
Homme adulte de référence, 176 cm, 73 kg

Slice no. 168 Coupe transverse



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

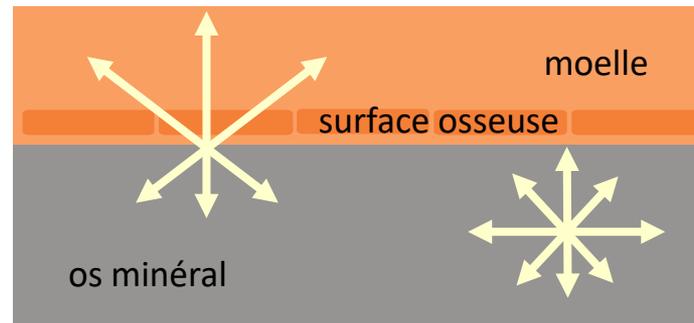
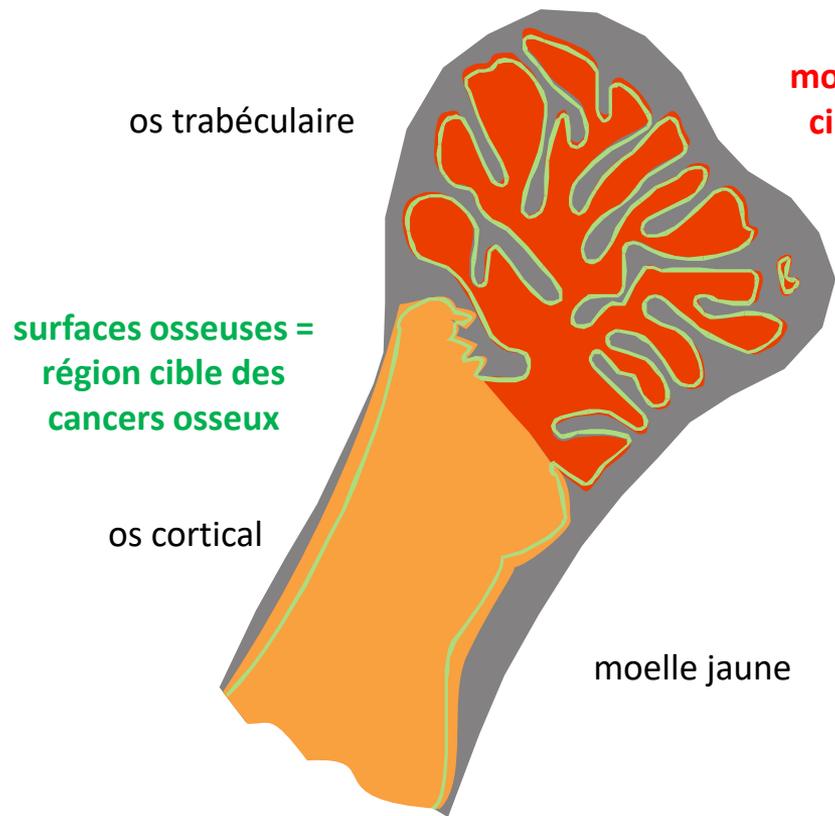
enfants



foetus

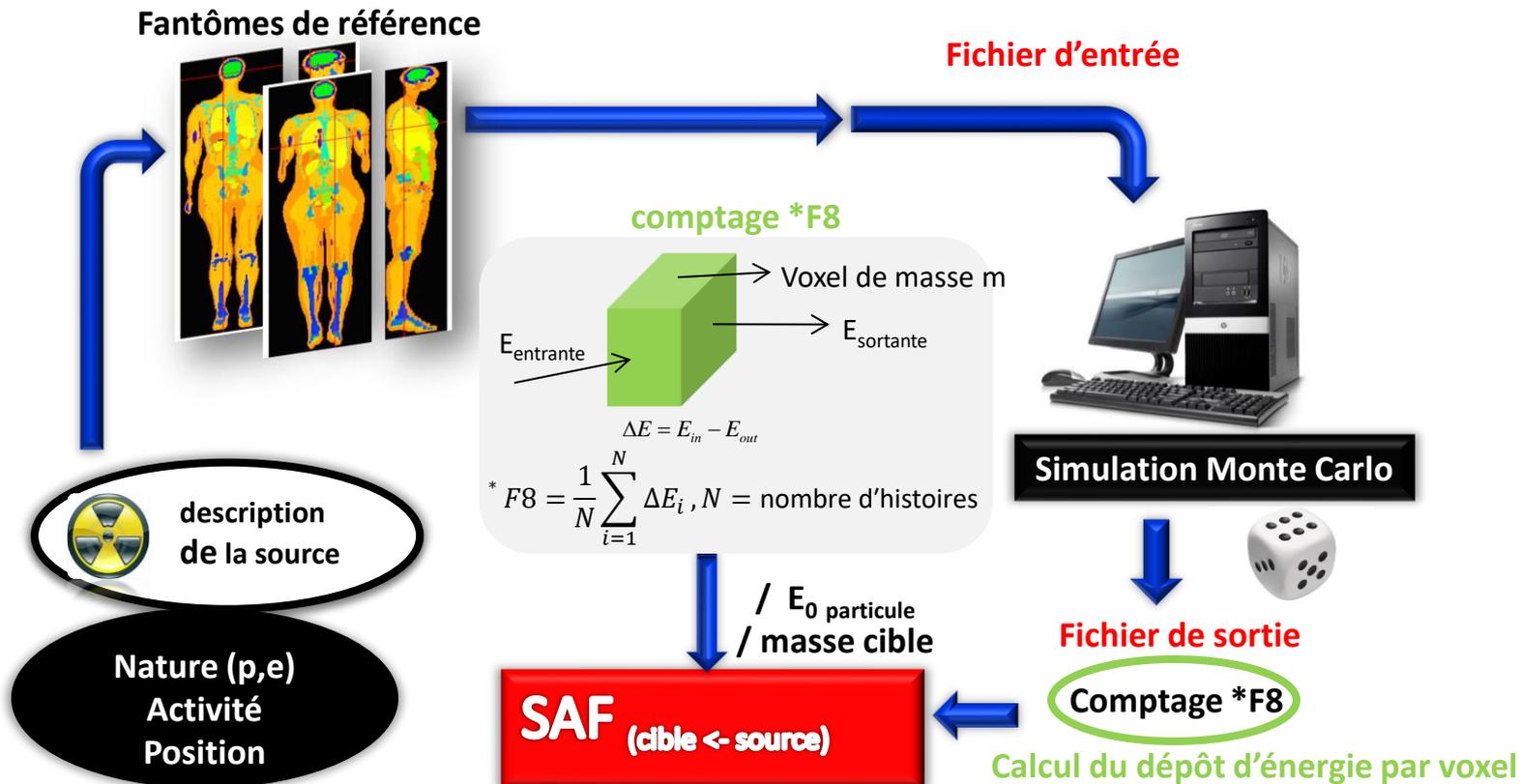


# Cellules radiosensibles dans le squelette



# Simulation des interactions rayonnement – matière dans le corps humain

Avec des codes Monte Carlo : MCNP, Penelope, EGSnrc, Geant4...



# 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

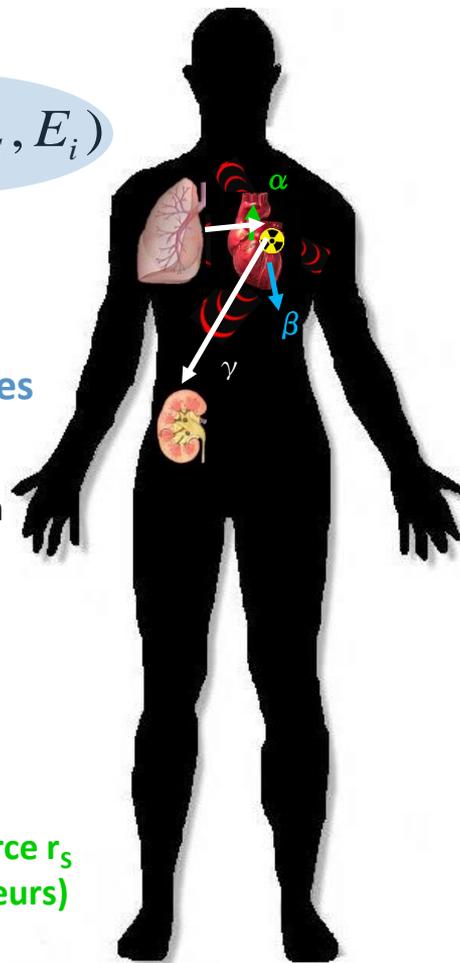
$\Phi$  Fraction massique absorbée (SAF) : proportion de l'énergie émise depuis une région source  $r_S$  qui est reçue par une région cible  $r_T$  divisée par la masse de la région cible ( $\text{kg}^{-1}$ )

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

$Y_i$ : 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

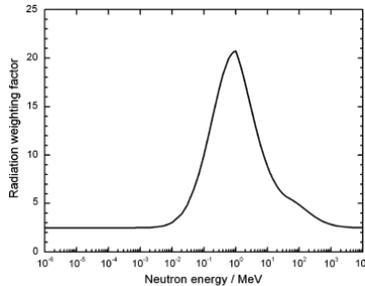


Fig. 1. Radiation weighting factor,  $w_R$ , for neutrons versus neutron energy.

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

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

## 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

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

## Coefficients de dose par incorporation

- 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.

## Sources des coefficients de dose réglementaires en 2003

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

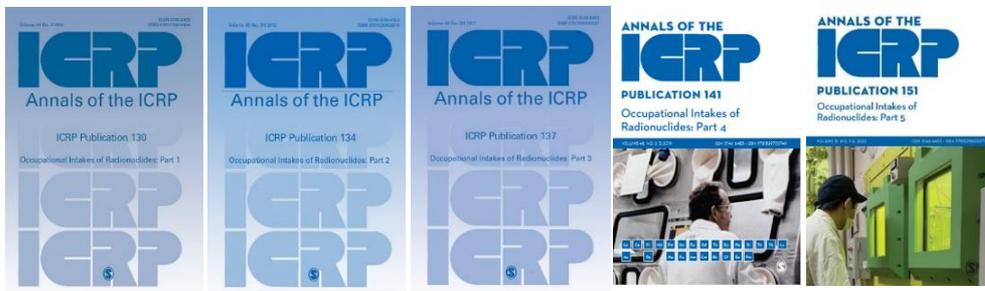
Run

Status: Finished

## Améliorations récentes

- Modèle respiratoire révisé : rétention pulmonaire à long terme, absorption plus détaillée, fraction attachée (Co, Ru, Hg, Pb, Ln, Ac, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm)
- Modèle gastrointestinal → modèle alimentaire : position des cellules cibles, dosimétrie  $\alpha$ ,  $\beta$  plus réaliste
- Modèles systémiques plus réalistes pour la plupart des éléments (ex. C, Cs, Rn, modèles recyclants, chaînes de décroissance avec cinétique indépendante)
- 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  $w_T$
- Nouvelle définition des « tissus restants » (*remainder*), moyenne des doses équivalentes homme et femme dans la dose efficace

# 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 $\mu\text{m}$	1.9E-5
Inhalation, Aerosols Type M, Plutonium citrate, plutonium tri-butyl-phosphate, plutonium chloride, $f_A=1E-4$ , 5 $\mu\text{m}$	1.4E-5
Inhalation, Aerosols Type S, $f_A=5E-6$ , 5 $\mu\text{m}$	1.7E-5
Inhalation, Aerosols Plutonium-239 dioxide, plutonium in mixed oxide, $f_A=2E-6$ , 5 $\mu\text{m}$	2.5E-5
Inhalation, Aerosols Plutonium dioxide 1-nm nanoparticles, $f_A=3.5E-4$ , 5 $\mu\text{m}$	1.7E-5
Inhalation, Aerosols Plutonium nitrate, $f_A=1E-4$ , 5 $\mu\text{m}$	1.3E-5

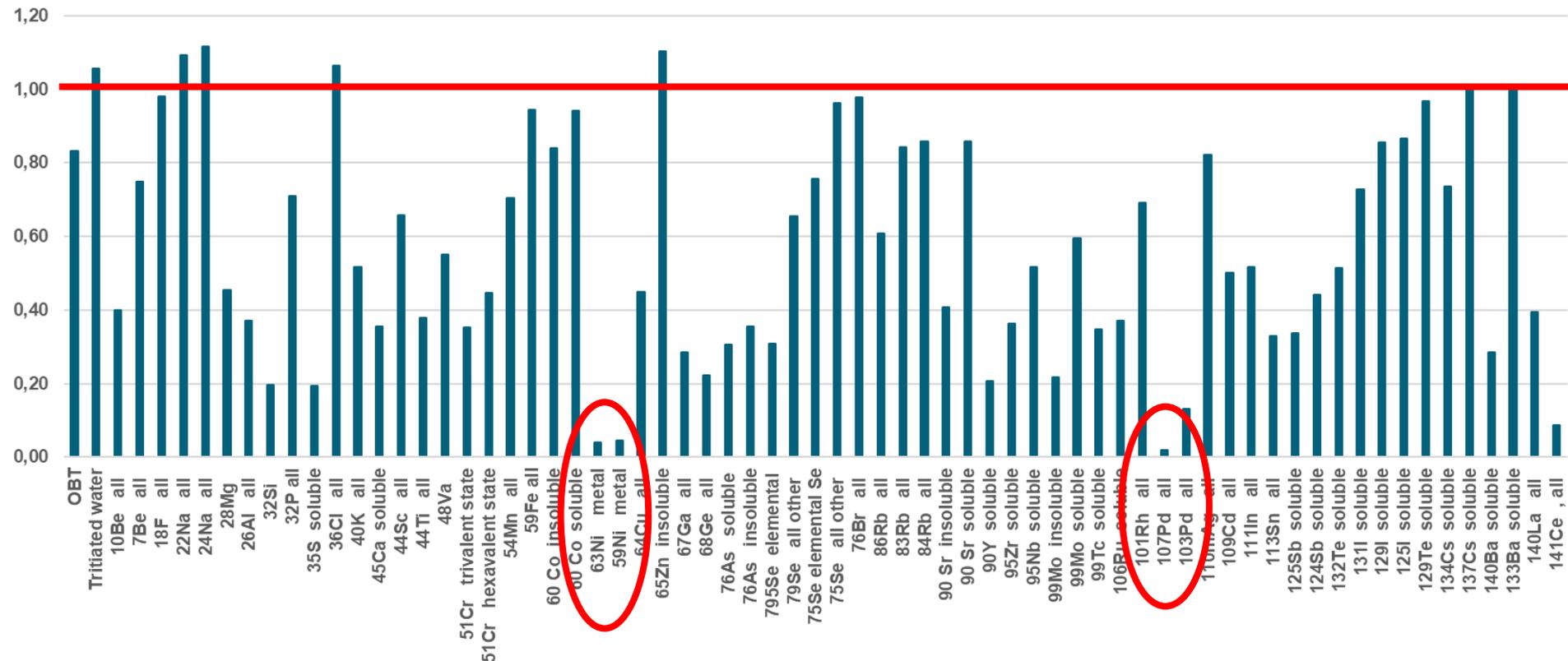
AMTD/AMAD,  $\mu\text{m}$

- 0.001
- 0.003
- 0.01
- 0.03
- 0.1
- 0.3
- 1
- 3
- 5
- 10
- 20

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

➔ Ratio OIR/CIPR 119 pour l'ingestion

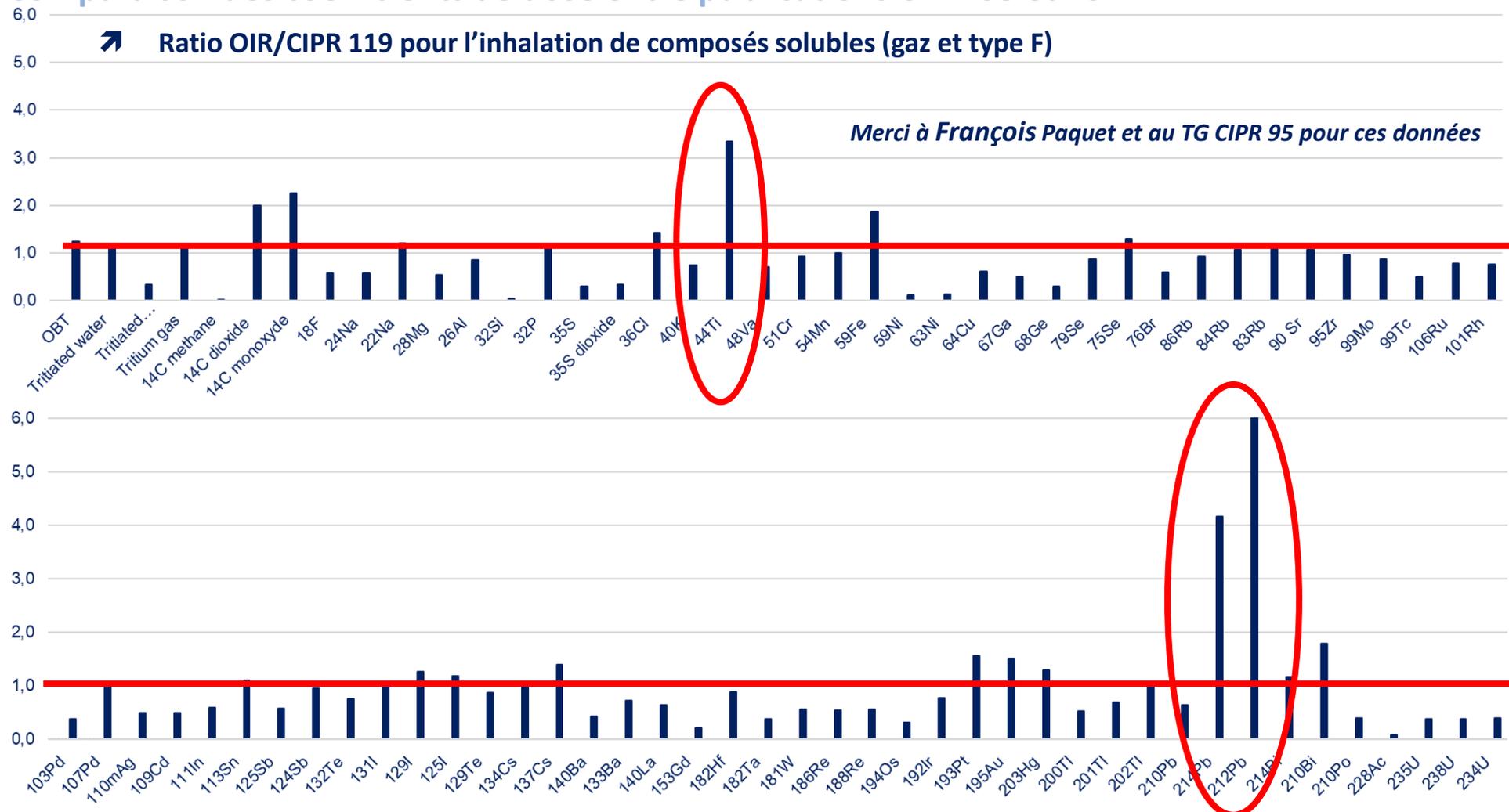
Merci à François Paquet et au TG CIPR 95 pour ces données



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

↗ Ratio OIR/CIPR 119 pour l'inhalation de composés solubles (gaz et type F)

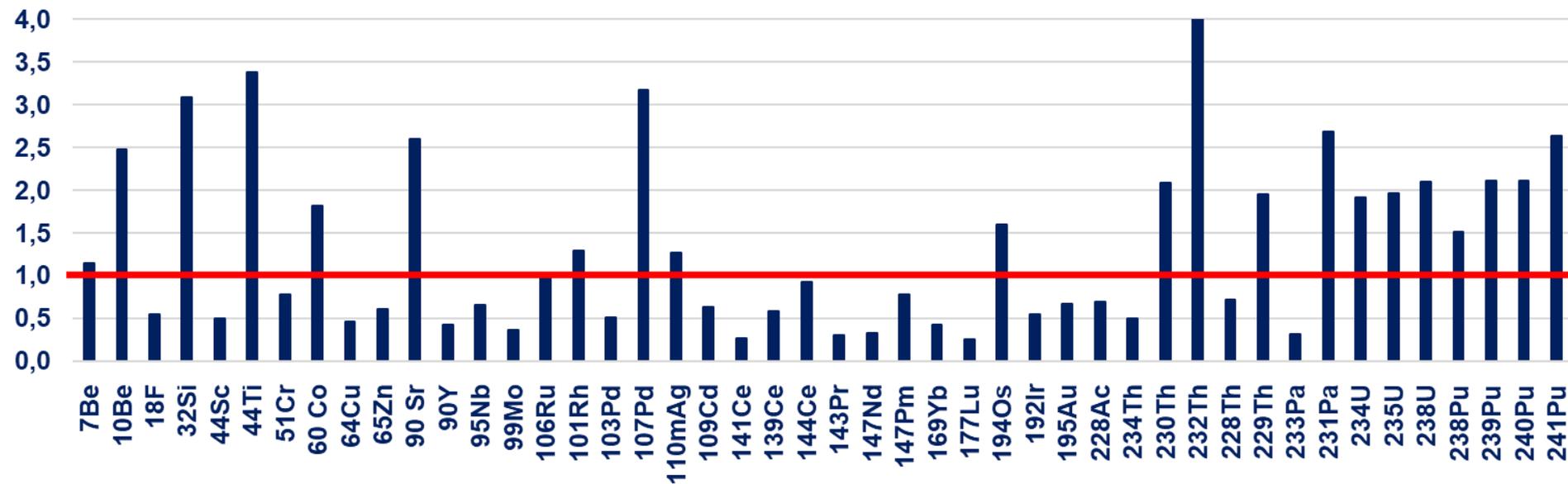
*Merci à François Paquet et au TG CIPR 95 pour ces données*



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

## ➤ Ratio OIR/CIPR 119 pour l'inhalation de composés de type S

*Merci à François Paquet et au TG CIPR 95 pour ces données*



## 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 (sous presse) = 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 (publication début 2025)
  - Part 3 = autres éléments (publication début 2026)
  - Parts 4-5 = enfant à naître et lait maternel (publication 2027-2028)

## 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 ↗)

## Révision des coefficients de dose pour le radon : 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%	

- CIPR 2017 : 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)

## Conclusion

- L'arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants a introduit dans la réglementation française les nouveaux coefficients de dose efficace engagée pour les travailleurs publiés par la CIPR dans la série OIR.
- Ces nouveaux coefficients résultent d'une amélioration des modèles biocinétiques et dosimétriques et d'une modification des facteurs de pondération  $w_T$  et  $w_R$ .
- Les nouvelles valeurs sont, pour la plupart, proches des anciennes ou inférieures, montrant que le système antérieur était protecteur. Dans quelques cas, les nouveaux coefficients sont plus élevés en raison d'un comportement ou de caractéristiques radiologiques spécifiques.
- La révision des modèles biocinétiques modifie également les fractions d'excrétion et de rétention: pour calculer la dose efficace engagée reçue à partir d'une mesure de la contamination interne, il convient d'utiliser les nouveaux coefficients de dose et les nouvelles fractions de rétention/d'excrétion.

## Références

- Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants
- 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).

Merci

# Arrêté du 16 novembre 2023

## Population : ingestion

forme chimique

classe d'âge



Correspondance entre tranches d'âge et individus de référence

Tableau 1.1. – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée par ingestion, exprimées en sievert par becquerel (Sv.Bq<sup>-1</sup>), applicables à la population ainsi qu'aux jeunes travailleurs jusqu'à 18 ans (sauf descendants du radon 222 et du radon 220), d'après les données de la publication 119 de la CIPR

Radionucléide	Age ≤ 1 an	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	> 17 ans
	h(g) (Sv.Bq <sup>-1</sup> )					
Hydrogène						
Tritium organiquement lié	1,2.10 <sup>-10</sup>	1,2.10 <sup>-10</sup>	7,3.10 <sup>-11</sup>	5,7.10 <sup>-11</sup>	4,2.10 <sup>-11</sup>	4,2.10 <sup>-11</sup>
Eau tritiée	6,4.10 <sup>-11</sup>	4,8.10 <sup>-11</sup>	3,1.10 <sup>-11</sup>	2,3.10 <sup>-11</sup>	1,8.10 <sup>-11</sup>	1,8.10 <sup>-11</sup>
Béryllium						
Be-7	1,8.10 <sup>-10</sup>	1,3.10 <sup>-10</sup>	7,7.10 <sup>-11</sup>	5,3.10 <sup>-11</sup>	3,5.10 <sup>-11</sup>	2,8.10 <sup>-11</sup>
Be-10	1,4.10 <sup>-9</sup>	8,0.10 <sup>-9</sup>	4,1.10 <sup>-9</sup>	2,4.10 <sup>-9</sup>	1,4.10 <sup>-9</sup>	1,1.10 <sup>-9</sup>

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

radionucléide

coefficient de dose (Sv/Bq ingéré)

Tableau 1.2. – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée par inhalation d'aérosols, en Sv.Bq<sup>-1</sup>, applicables à la population ainsi qu'aux jeunes travailleurs jusqu'à 18 ans (sauf descendants du radon 222 et du radon 220), d'après les données de la publication 119 de la CIPR

Radionucléide	Type d'absorption	Age ≤ 1 an	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	> 17 ans
		h(g) (Sv.Bq <sup>-1</sup> )					
<b>Hydrogène</b>							
H-3	F	2,6.10 <sup>-11</sup>	2,0.10 <sup>-11</sup>	1,1.10 <sup>-11</sup>	8,2.10 <sup>-12</sup>	5,0.10 <sup>-12</sup>	6,2.10 <sup>-12</sup>
	M*	3,4.10 <sup>-10</sup>	2,7.10 <sup>-10</sup>	1,4.10 <sup>-10</sup>	8,2.10 <sup>-11</sup>	5,3.10 <sup>-11</sup>	4,5.10 <sup>-11</sup>
	S	1,2.10 <sup>-9</sup>	1,0.10 <sup>-9</sup>	6,3.10 <sup>-10</sup>	3,8.10 <sup>-10</sup>	2,8.10 <sup>-10</sup>	2,6.10 <sup>-10</sup>
<b>Béryllium</b>							
Be-7	M	2,5.10 <sup>-10</sup>	2,1.10 <sup>-10</sup>	1,2.10 <sup>-10</sup>	8,3.10 <sup>-11</sup>	6,2.10 <sup>-11</sup>	5,0.10 <sup>-11</sup>
	S	2,8.10 <sup>-10</sup>	2,4.10 <sup>-10</sup>	1,4.10 <sup>-10</sup>	9,6.10 <sup>-11</sup>	6,8.10 <sup>-11</sup>	5,5.10 <sup>-11</sup>
Be-10	M	4,1.10 <sup>-8</sup>	3,4.10 <sup>-8</sup>	2,0.10 <sup>-8</sup>	1,3.10 <sup>-8</sup>	1,1.10 <sup>-8</sup>	9,6.10 <sup>-9</sup>
	S	9,9.10 <sup>-8</sup>	9,1.10 <sup>-8</sup>	6,1.10 <sup>-8</sup>	4,2.10 <sup>-8</sup>	3,7.10 <sup>-8</sup>	3,5.10 <sup>-8</sup>

F  
M\*

type d'absorption pulmonaire

\* type d'absorption pulmonaire par défaut

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

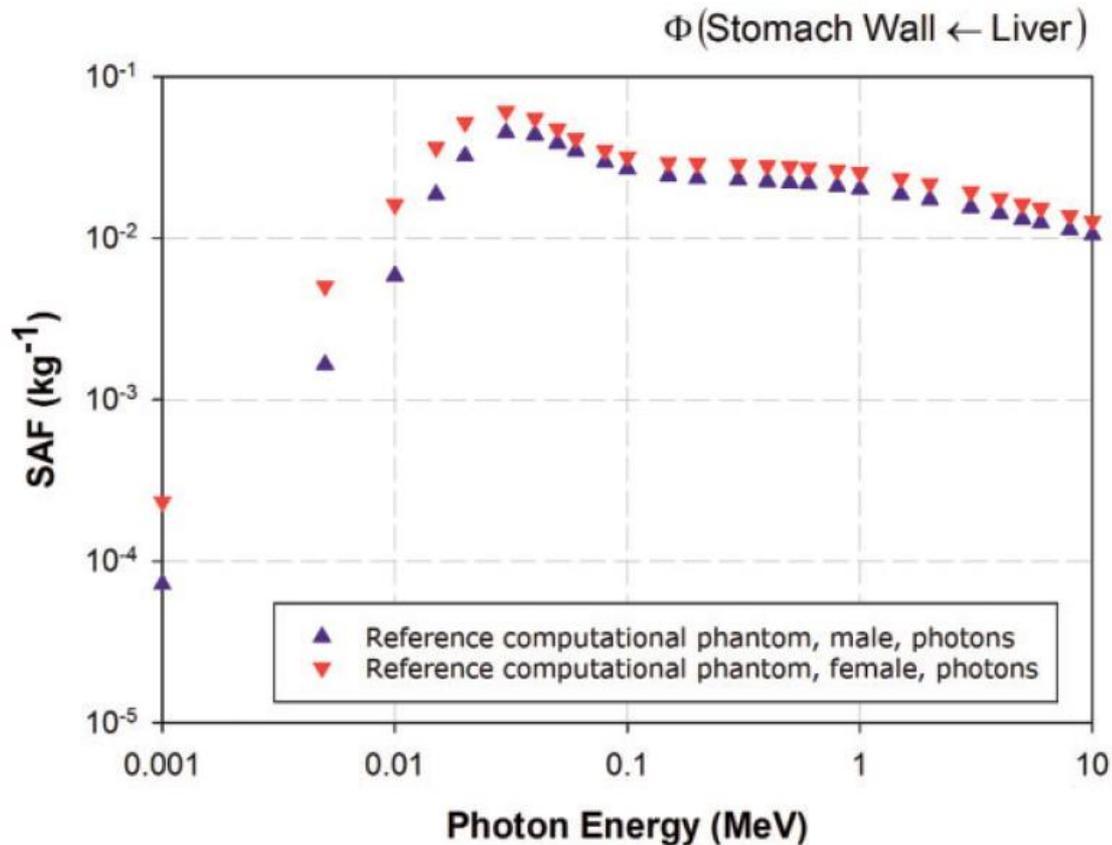
Tableau 2.1. – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée par inhalation de gaz et vapeurs solubles ou réactifs, en Sv.Bq<sup>-1</sup>, applicables à la population ainsi qu'aux jeunes travailleurs jusqu'à 18 ans, d'après les données de la publication 119 de la CIPR

Radionucléide	Age ≤ 1 an	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	> 17 ans
	h(g) (Sv.Bq <sup>-1</sup> )					
Tritium lié organiquement	1,1.10 <sup>-10</sup>	1,1.10 <sup>-10</sup>	7,0.10 <sup>-11</sup>	5,5.10 <sup>-11</sup>	4,1.10 <sup>-11</sup>	4,1.10 <sup>-11</sup>
Tritium gazeux (formule chimique : HT)	6,4.10 <sup>-15</sup>	4,8.10 <sup>-15</sup>	3,1.10 <sup>-15</sup>	2,3.10 <sup>-15</sup>	1,8.10 <sup>-15</sup>	1,8.10 <sup>-15</sup>

formes gaz et vapeur

## Exemple de résultats de simulations

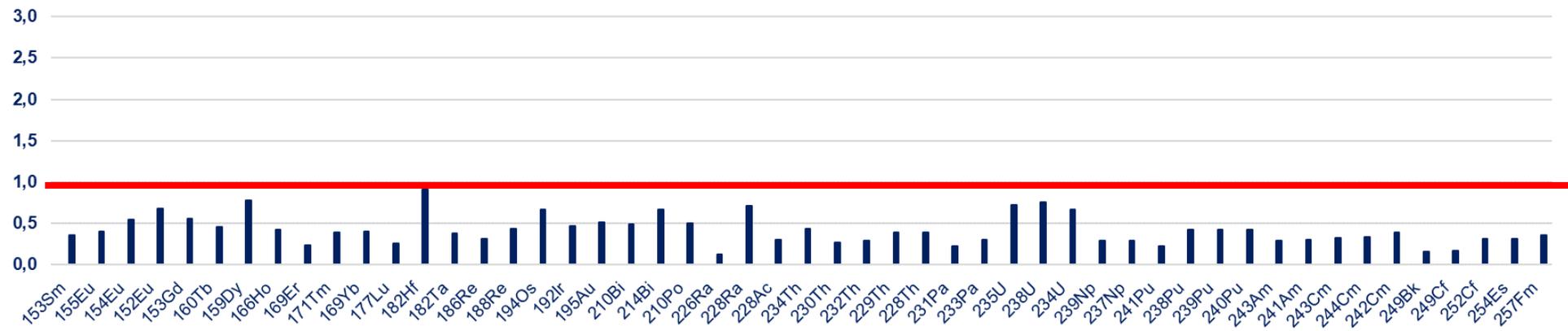
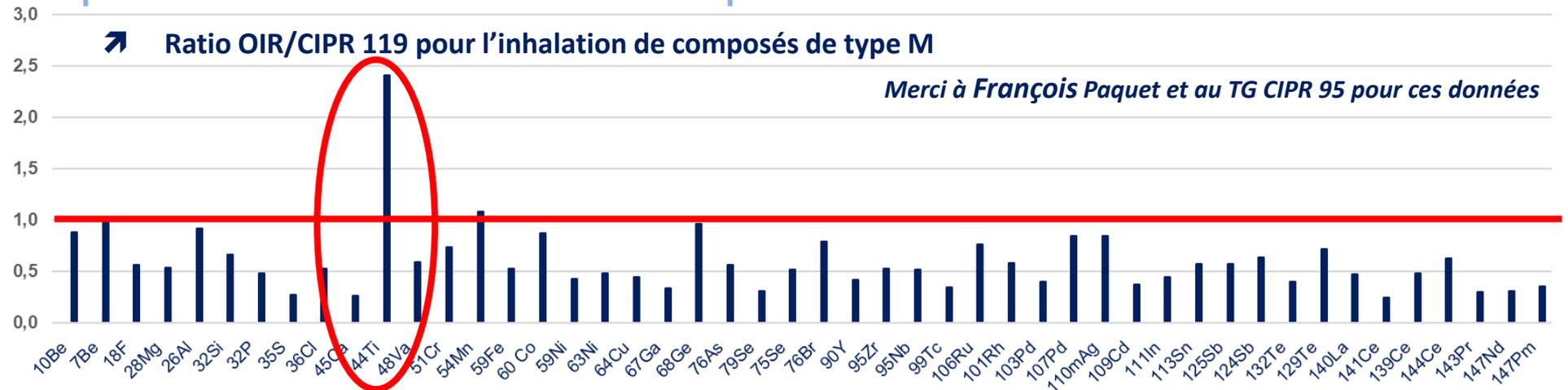
- Fraction massique absorbée (SAF) dans la paroi de l'estomac de photons émis depuis le foie



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

↗ **Ratio OIR/CIPR 119 pour l'inhalation de composés de type M**

*Merci à François Paquet et au TG CIPR 95 pour ces données*



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

➔ Ratio OIR/CIPR 119 pour l'ingestion

Merci à François Paquet et au TG CIPR 95 pour ces données

