

instn



Contamination interne : comment estimer la dose en pratique ?

E. DAVESNE, A. VAN DER MEEREN, L. BODIN, F. MENETRIER

Contamination interne

3 voies d'entrée dans l'organisme

Inhalation



Ingestion



Blessure ou transfert transcutané



Contexte réglementaire

Article R4451-19 du code du travail

- Lorsque les mesures mises en œuvre en application de l'article [R. 4451-18](#) **ne permettent pas d'éviter un risque de contamination par des substances radioactives ou de mise en suspension d'aérosols ou de relâchement gazeux significatif**, l'employeur met en œuvre notamment les mesures visant à :
 - 1° En **limiter les quantités** sur le lieu de travail ;
 - 2° Améliorer la propreté radiologique en mettant en œuvre des **moyens techniques et organisationnels pour contenir la contamination, notamment par confinement et aspiration à la source** et en **adaptant la circulation des travailleurs, les flux des équipements de travail et les moyens de protection** tels que définis à l'article [L. 4311-2](#) ;
 - 3° Déployer les mesures d'hygiène appropriées, notamment pour que **les travailleurs ne mangent pas et ne boivent pas dans les lieux de travail concernés** ;
 - 4° Assurer la **disponibilité d'appareils de contrôle radiologique**, notamment à la sortie des lieux de travail concernés ;
 - 5° Définir en liaison avec les professionnels de santé mentionnés au premier alinéa de l'article [L. 4624-1](#) **les procédures et moyens adaptés pour la décontamination des travailleurs** ;
 - 6° Organiser **la collecte, le stockage et l'évacuation des déchets et effluents radioactifs de manière sûre pour les travailleurs**.

Contexte réglementaire

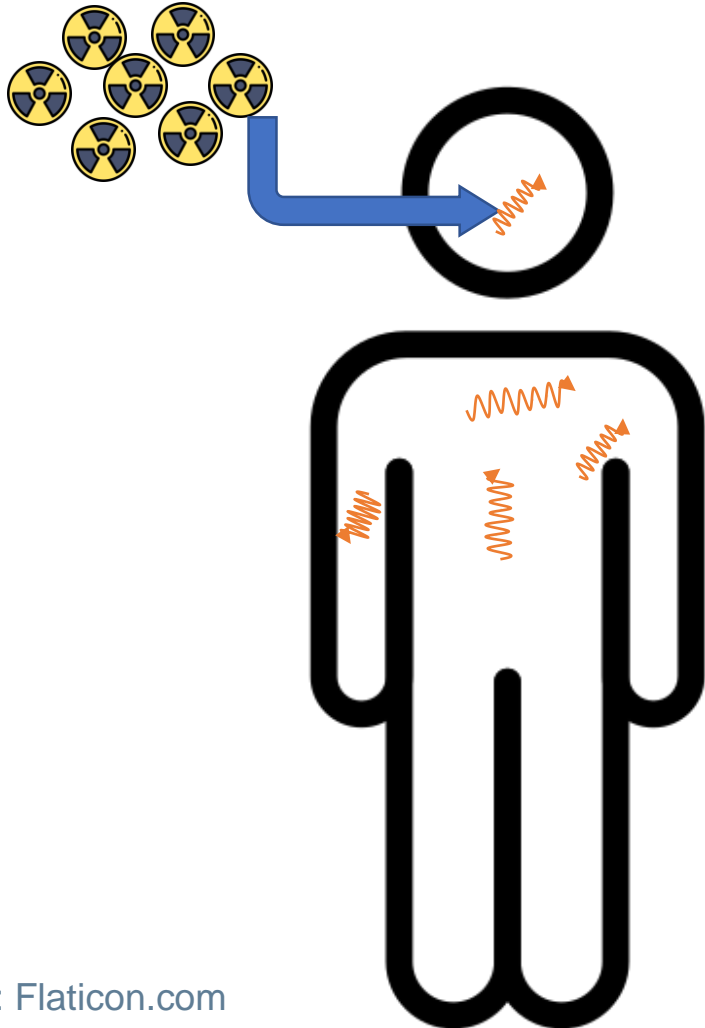
Article R.4451-65 du code du travail

- II.-La surveillance dosimétrique individuelle liée à l'exposition interne est réalisée au moyen de **mesures d'anthroporadiométrie ou d'analyses de radio-toxicologie** prescrites par le **médecin du travail** et confiées à un service de santé au travail ou à un laboratoire de biologie médicale accrédités.

Sur la base du résultat de ces examens, **le médecin du travail calcule la dose engagée par le travailleur avec l'appui technique, le cas échéant, du conseiller en radioprotection.**

Comment estimer la dose en pratique ? Quels outils, données sont nécessaires ?

Spécificités de la dosimétrie interne



Incorporation = pénétration d'un radionucléide dans le corps

Biocinétique = répartition du radionucléide dans le corps en fonction du temps

Dose absorbée = énergie absorbée dans un volume par unité de masse

Pour estimer une dose suite à une contamination interne, nécessité d'utiliser :

- Un modèle biocinétique \Rightarrow nombre de désintégration dans un tissu
- Des données nucléaires d'émission des particules et de leurs énergies \Rightarrow énergie émise dans un tissu
- Un modèle dosimétrique \Rightarrow énergie absorbée dans un autre tissu

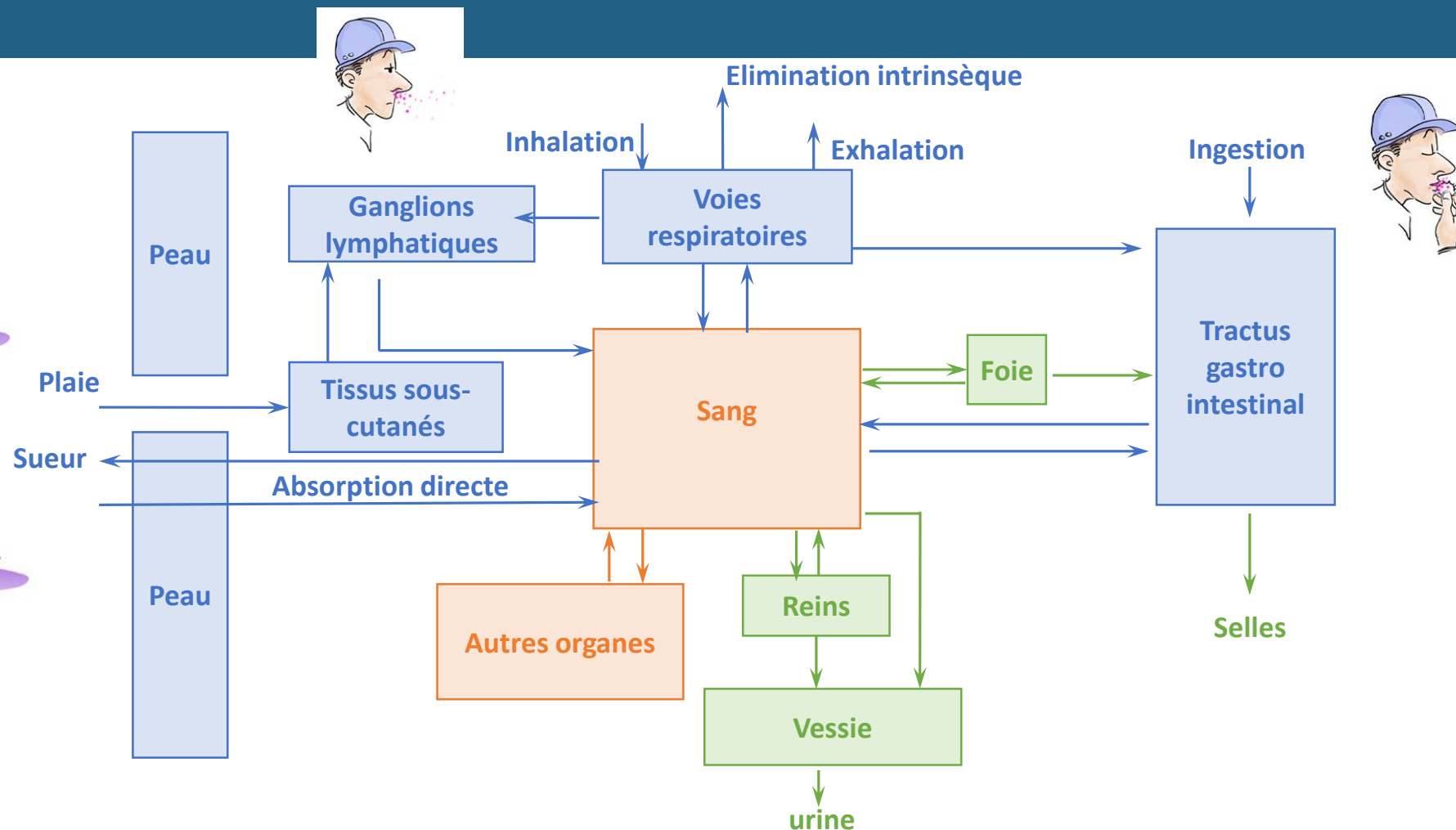
Outils de dosimétrie interne

Modèles biocinétiques

Données nucléaires

Modèles dosimétriques

Voies d'incorporation, de transfert et d'excrétion



Adapté de la Publication
130 de la CIPR

Les modèles des voies d'entrée dépendent du mode d'incorporation et des propriétés physico-chimiques de la substance incorporée.

Les modèles systémiques et voies d'excrétion dépendent de l'élément chimique.

Voies d'incorporation

A chaque voie d'incorporation, son modèle d'entrée :



Inhalation :
Human Respiratory
Tract Model
(HRTM)



Plaie :
NCRP Wound
Model



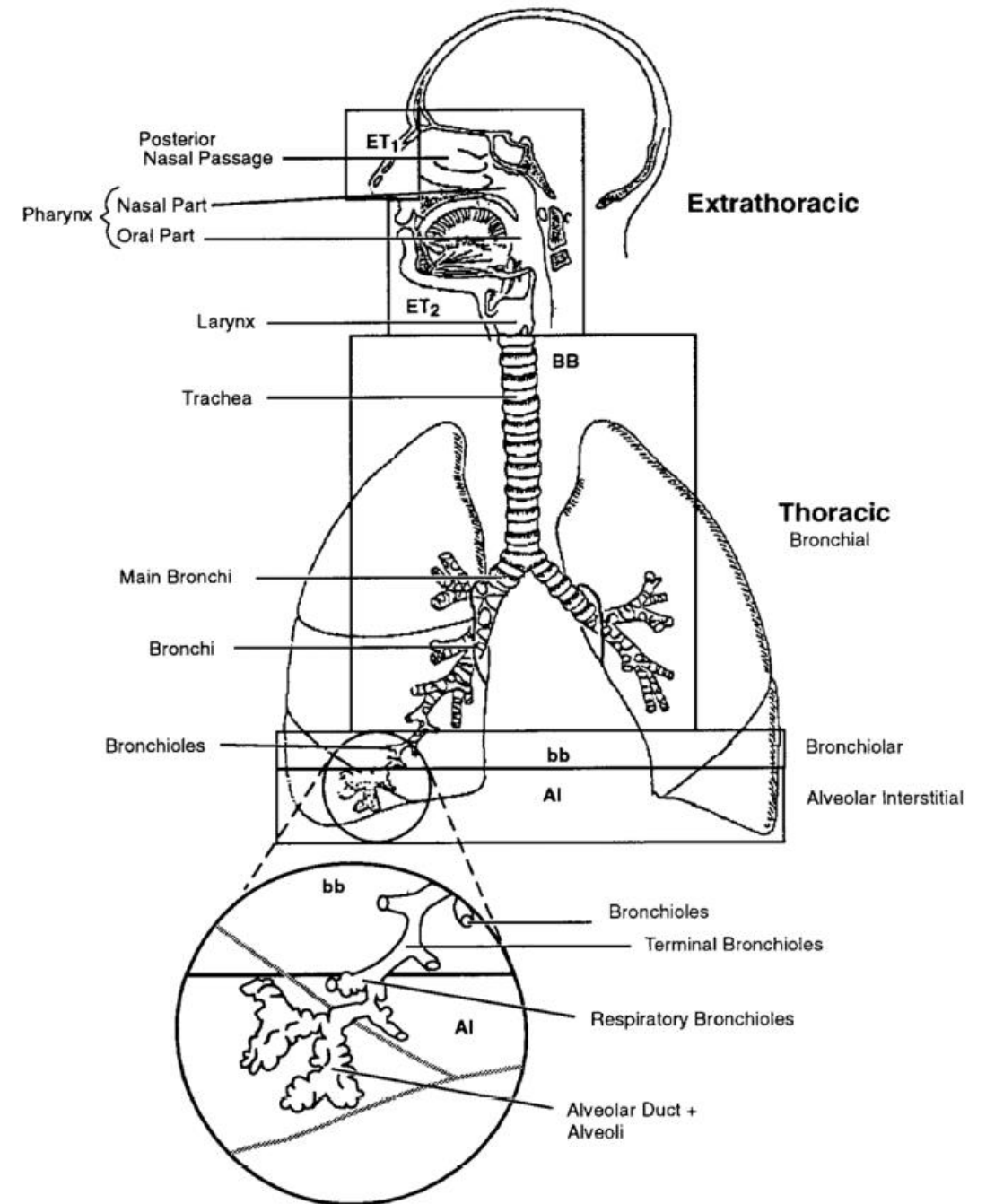
Ingestion :
Human Alimentary
Tract Model
(HATM)

Présentation

Publié dans la Publication 66 de la CIPR puis révisé dans la Publication 130

Dépôt, transport et absorption des radionucléides inhalés

5 régions anatomiques



Publication 130 de la CIPR

Types d'absorption de référence

Publication 130 de la CIPR

Valeurs par défaut

Type	Fraction rapidement dissoute	Taux de dissolution rapide (j^{-1})	Taux de dissolution lente (j^{-1})
	f_r	S_r	S_s
F (fast)	1	30	-
M (moderate)	0,2	3	0,005
S (slow)	0,01	3	0,0001

$f_b = 0$ sauf pour certains composés spécifiques (Pu par exemple)

Pour les gaz et vapeurs, l'hypothèse par défaut est un dépôt total dans le système respiratoire avec une absorption de Type F. Une absorption instantanée dans le sang (Type V) est supposée pour certaines vapeurs (vapeur d'iode élémentaire par exemple).

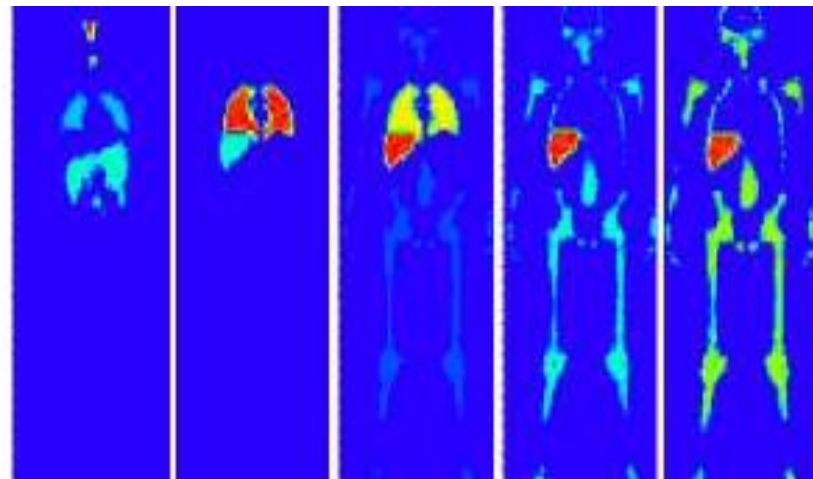
Types d'absorption pour certains composés

Elément	type	composé	
cobalt	M	composés non spécifiés	
	S	oxydes, hydroxydes, halogénures et nitrates	
iode	F	tous composés	<i>Publication 78 de la CIPR en cours de révision</i>
césium	F	tous composés	
	M	oxydes, hydroxydes, halogénures, carbonates et nitrates	
uranium	F	composés hexavalents comme UF_6 , UO_2F_2 et $UO_2(NO_3)_2$	
	M	composés moins solubles comme UO_3 , UF_4 , UCl_4	
	S	composés insolubles comme UO_2 et U_3O_8	
plutonium	M	composés non spécifiés	
	S	oxydes insolubles	
américium	M	tous composés	F = fast, M = moderate, S = slow

Influence des types d'absorption

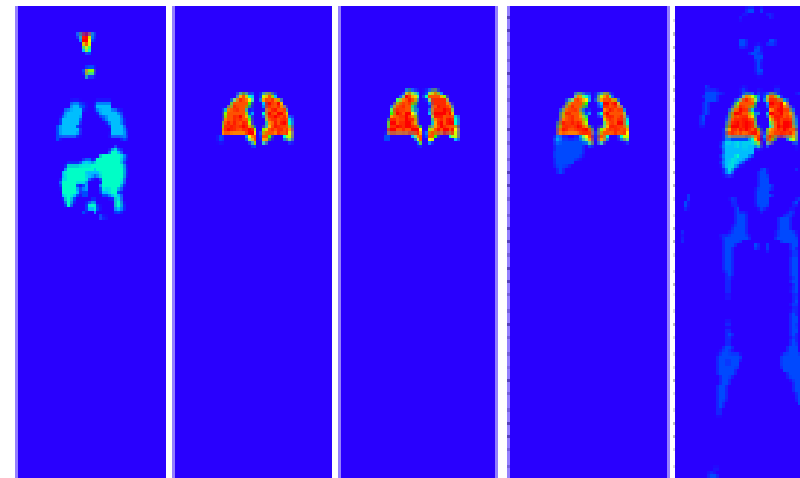
Retention de ^{241}Am après inhalation

Type M



1 10 100 1000 2000
jours

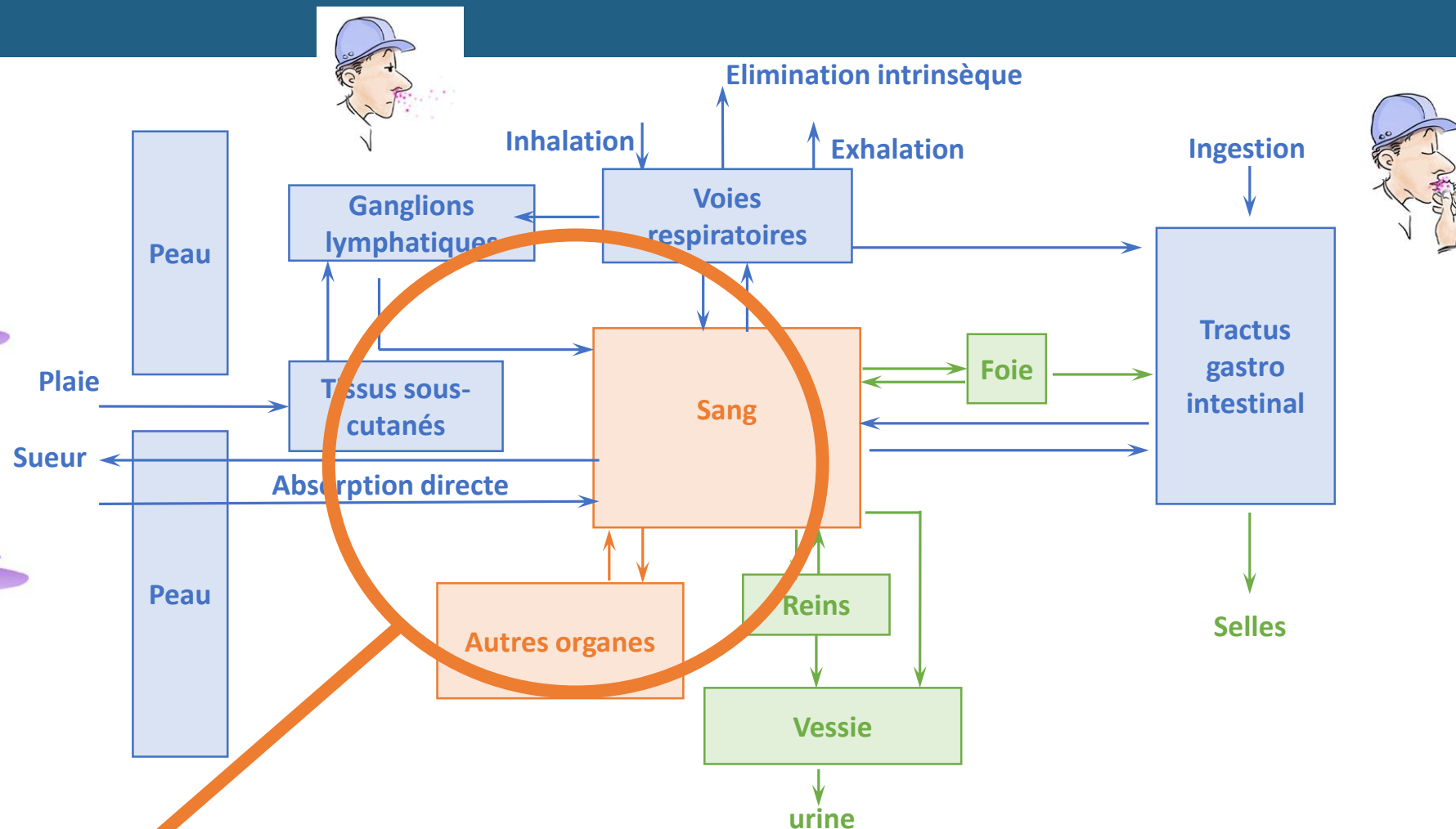
Type S



1 10 100 1000 2000
jours

À partir de Lamart, 2008

Voies d'incorporation, de transfert et d'excrétion



Adapté de la Publication
130 de la CIPR

Les modèles des voies d'entrée dépendent du mode d'incorporation et des propriétés physico-chimiques de la substance incorporée.

Les modèles systémiques et voies d'excrétion dépendent de l'élément chimique.

Modèle systémique du tritium

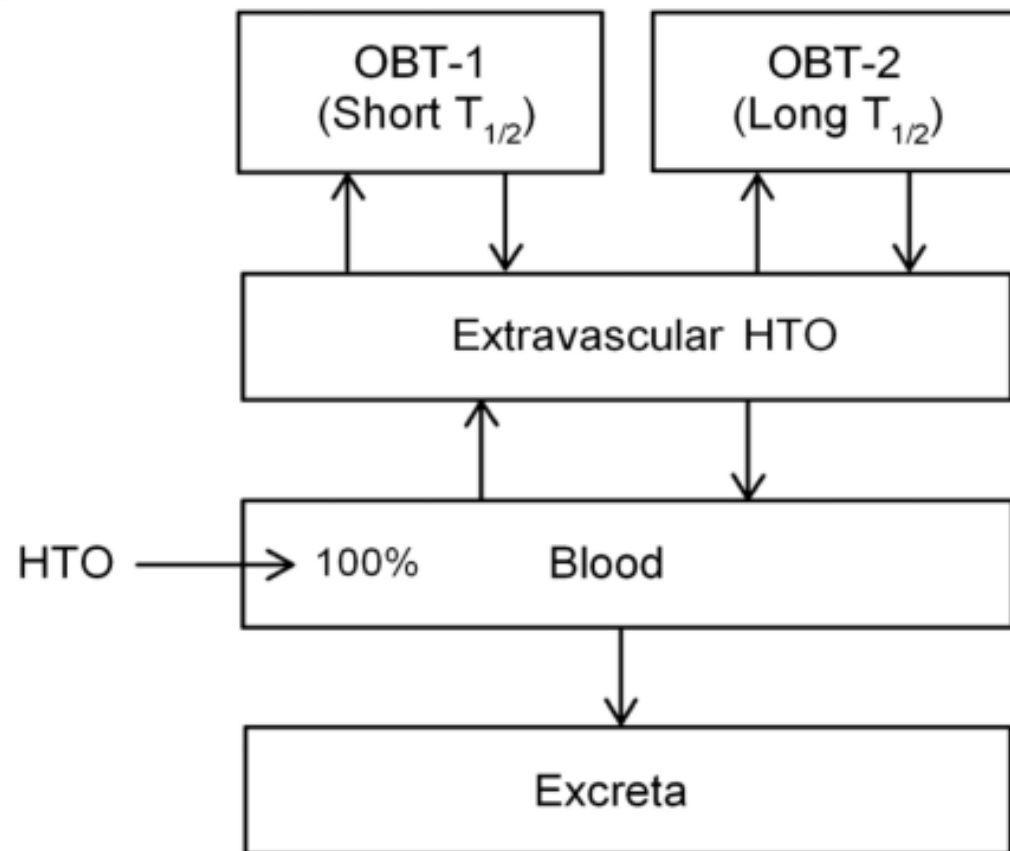


Fig. 2.1. Structure of the tritiated water (HTO) systemic model. Transfer from blood to excreta (or excretion pathways) is divided as follows: 55% to urinary bladder contents; 4% to right colon contents; 12% exhaled with no retention in lungs; and 29% removed through the skin (sweat plus insensible loss) with no retention in skin. OBT, organically bound tritium; $T_{1/2}$, half-life.

Table 2.5. Transfer coefficients (d^{-1}) in the tritiated water (HTO) systemic model.

From	To	Transfer coefficient (d^{-1})
Blood	Extravascular HTO*	400
Extravascular HTO	OBT-1*	0.0006
Extravascular HTO	OBT-2*	0.00008
Blood	Excreta [†]	0.7
Extravascular HTO	Blood	44
OBT-1	Extravascular HTO	0.01733
OBT-2	Extravascular HTO	0.0019

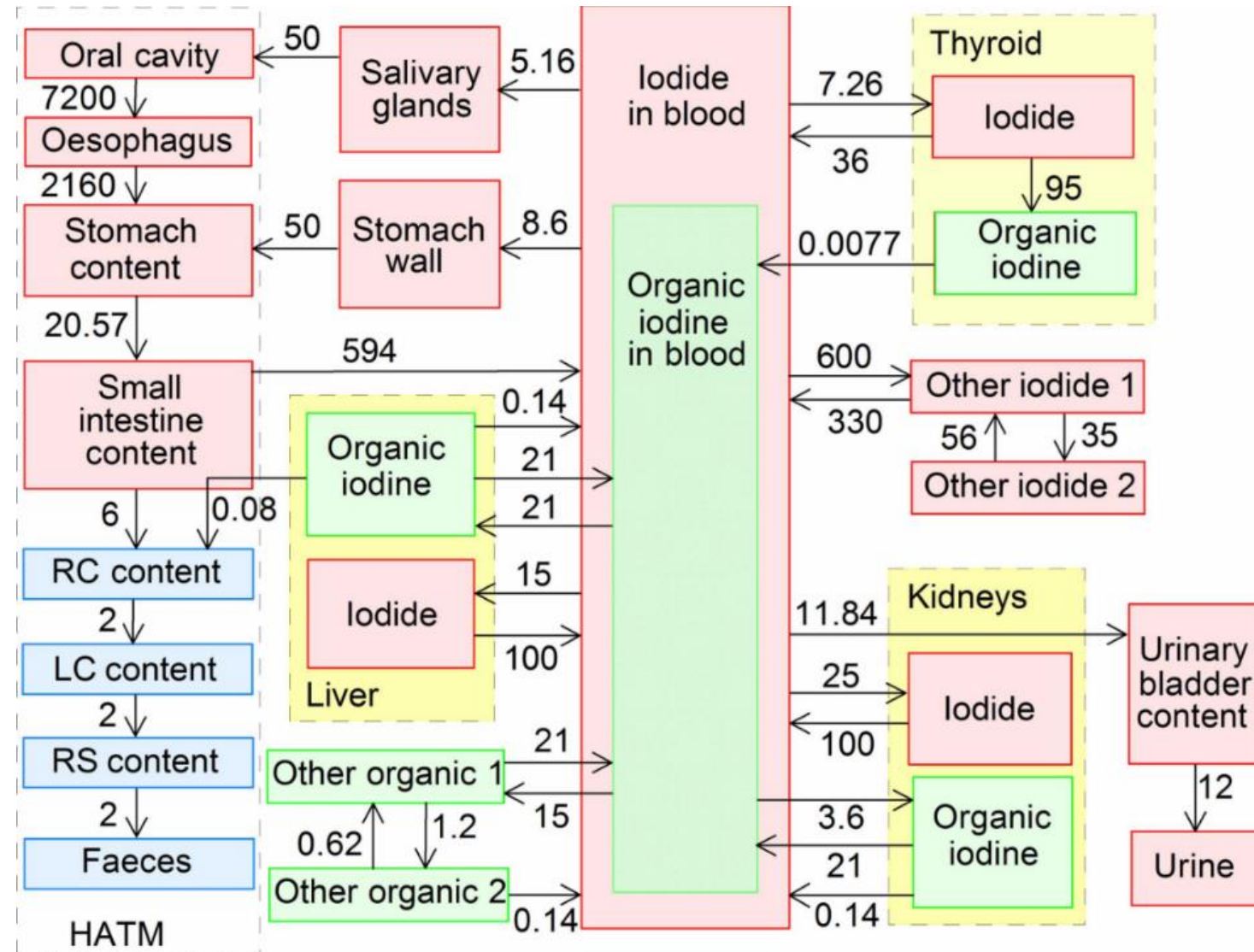
OBT, organically bound tritium.

*For purposes of dose calculations, these compartments are assumed to be distributed uniformly in the body.

[†]55% to urinary bladder contents, 4% to right colon contents, 12% exhaled, and 29% lost through skin.

Modèle systémique de l'iode

3 sous-systèmes : iodure inorganique en circulation, iode organifié dans la thyroïde, iode organifié hors de la thyroïde

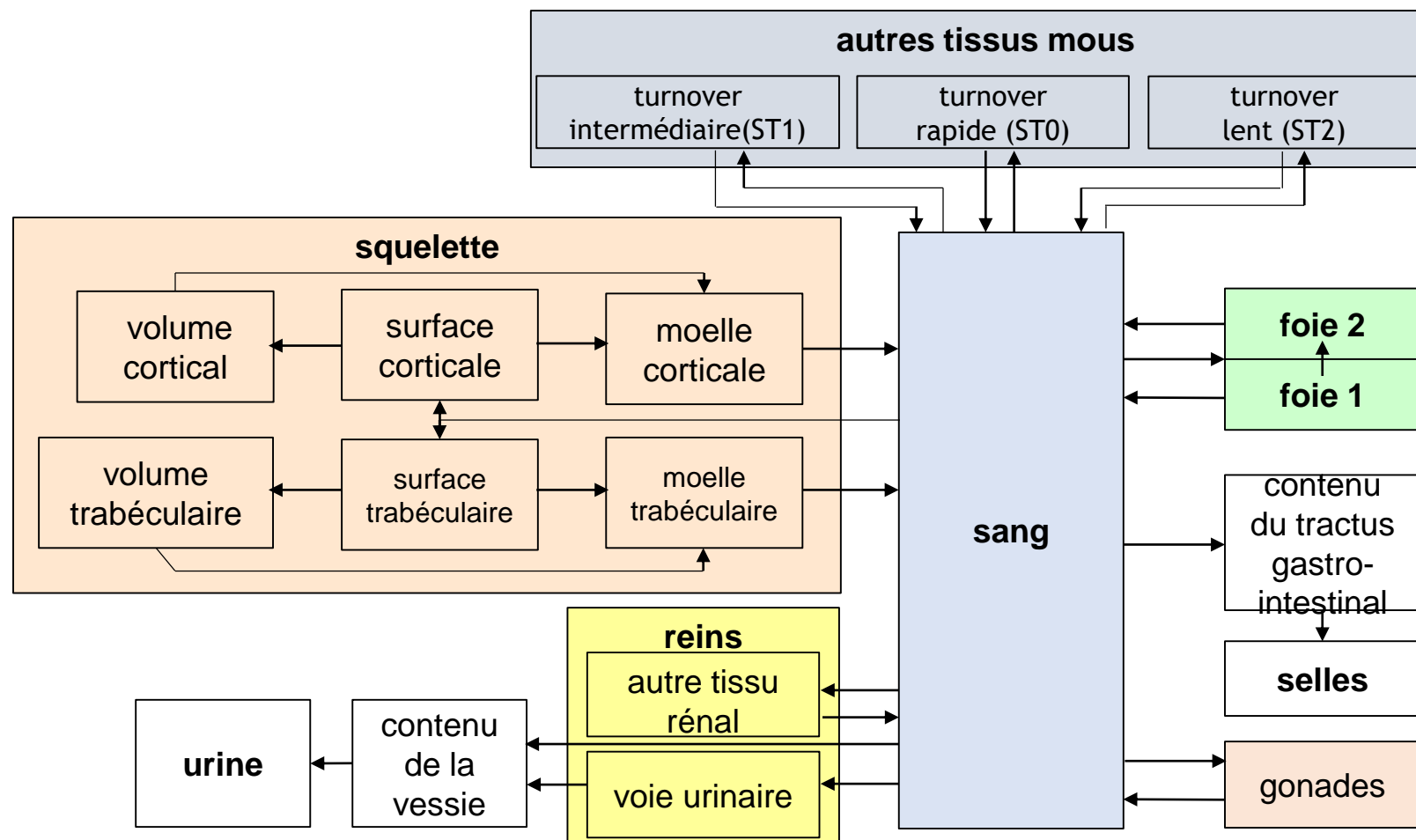


Leggett, 2017

Publication 137 de la CIPR

Modèle systémique de Modèle systémique pour les lanthanides et actinides (Th, U, Pu, Am...)

Publication 137 de la CIPR



Base de données nucléaires

- Information sur ~ 1000 isotopes de ~ 100 éléments
 - Période radioactive, mode de désintégration
 - Chaîne de descendants radioactifs éventuels
- Spectre d'émission de rayonnements
 - Pour chaque raie :
 - Type de rayonnement (α , β , γ , X, électrons, fission)
 - Energie (Mev)
 - Rendement (= nombre de particules émises par désintégration)
- Point de départ du calcul dosimétrique
 - Activité cumulée dans une région \times rendement \times énergie = énergie émise depuis cette région

DECDATA - A Summary of Radiation Emissions

Legend																							
IA																	VIIIB						
H 1																	He 2						
Li 3	Be 4																	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12																	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36						
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54						
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86						
Fr 87	Ra 88	Ac 89																					
		Lanthanide Series																					
		Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71								
		Actinide Series																					
		Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103								

Click on an element to list its radioisotopes.
Press <Esc> to exit DECDATA.

<F1>=Export <F2>=Chain <F3>=Plots <F4>=Tables <F5>=Unknown <F6>=Help <F7>=About

Publication CIPR 107

Téléchargeable gratuitement sur le site
de la CIPR

[https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP
%20Publication%20107](https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20107)

Modèles dosimétriques

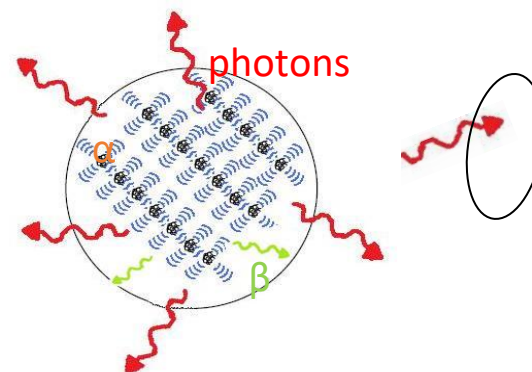
Ils définissent la géométrie ainsi que les masses de chacun des tissus

2 types de modèles dosimétriques

- Fantômes
- Géométrie locale pour les rayonnements non pénétrants (alpha et beta)

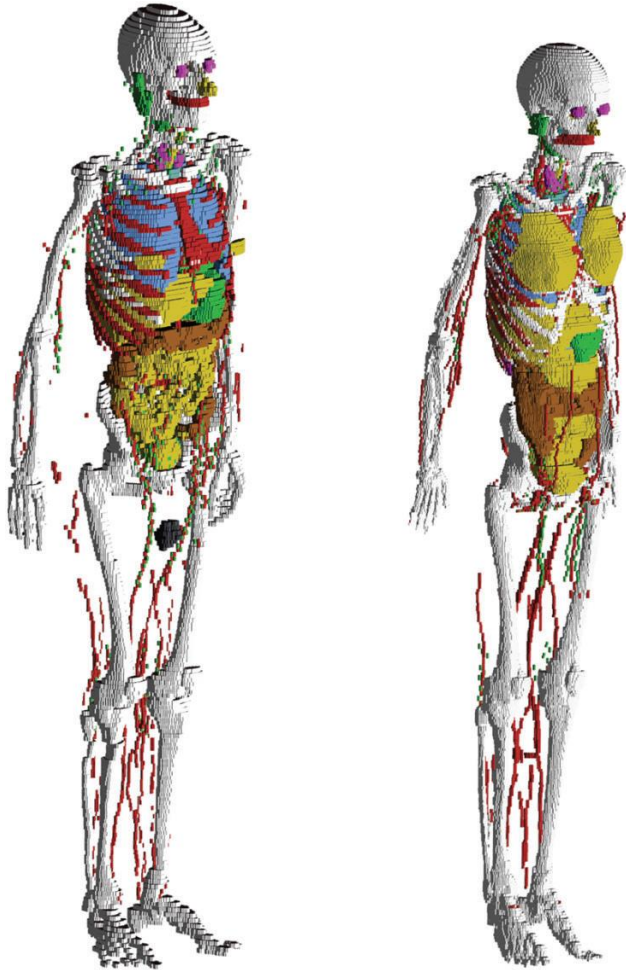
Transport des rayonnements dans les modèles pour estimer les fractions absorbées massiques

- Utilisation de simulation Monte-Carlo (MCNP/MCNPX, Penelope, GEANT, EGS)

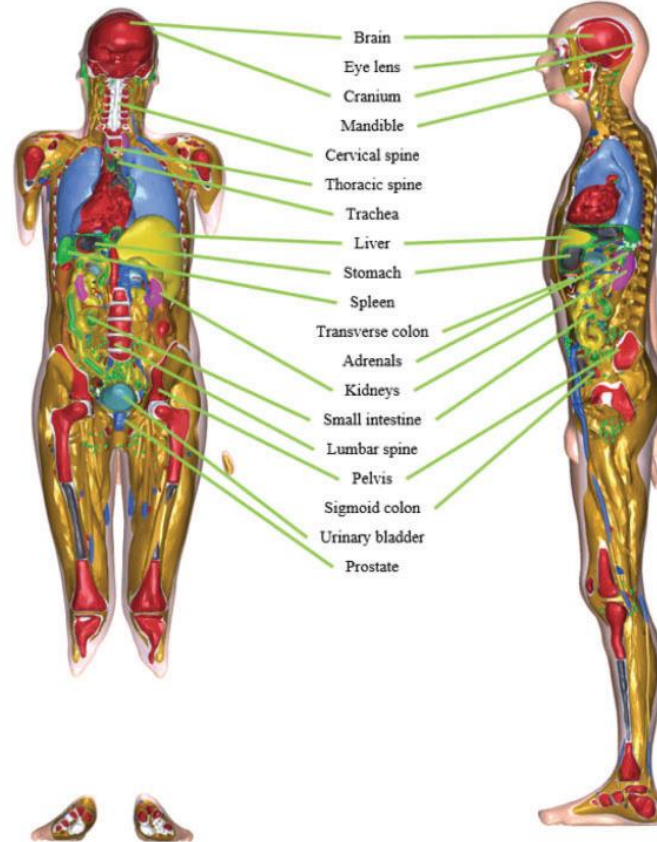


Fantômes hybrides

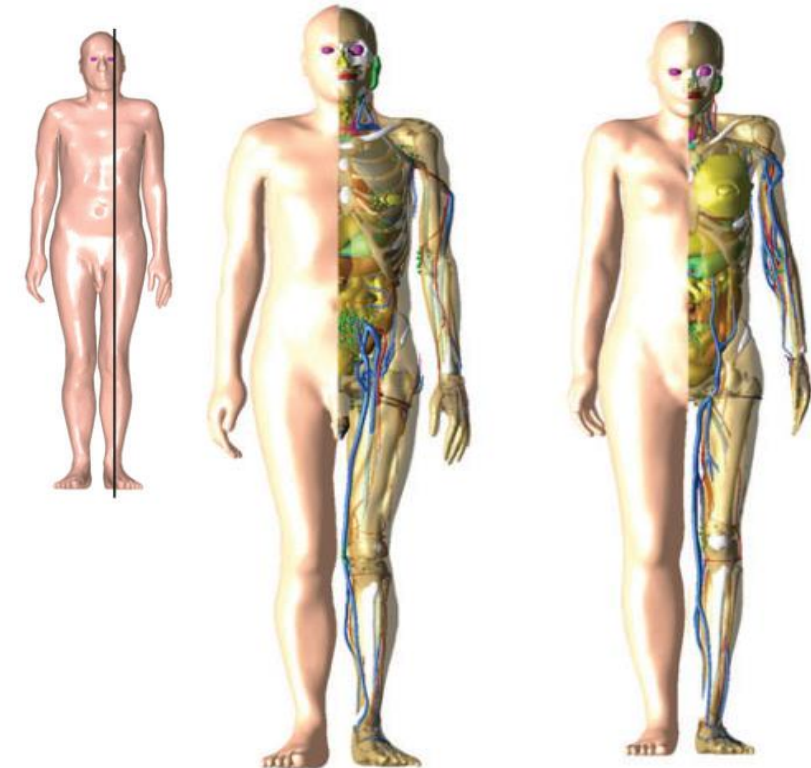
Fantômes voxelisés Femme de référence , 163 cm, 60 kg



Homme de référence, 176 cm, 73 kg

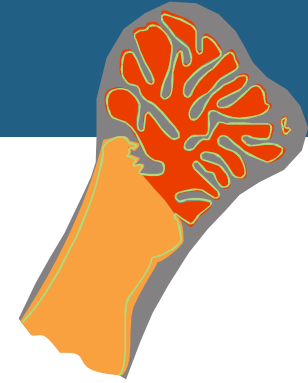


Fantômes hybrides



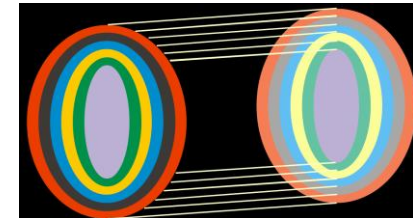
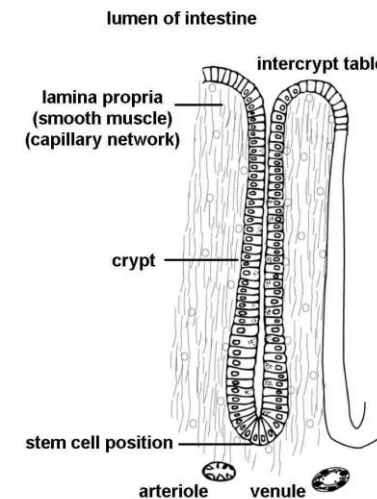
Publication 145 de la
CIPR

Modèles anatomiques : géométrie locale

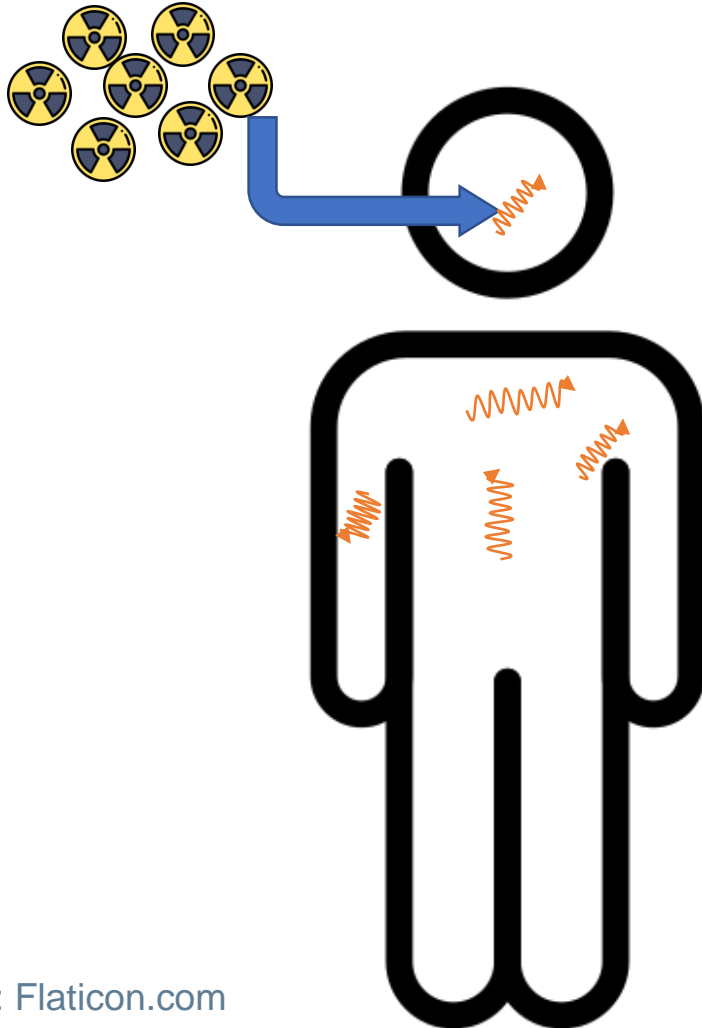


Pour les rayonnements non pénétrants (α , β)

- Squelette
 - Radionucléides dans la moelle, dans le volume et à la surface de l'os minéral trabéculaire et cortical
 - Cellules radiosensibles dans la moelle rouge hématopoïétique (leucémie) et sur les surfaces osseuses (cancer de l'os)
- Poumon
 - Radionucléides déposés dans le mucus des bronches et alvéoles
 - Cellules radiosensibles basales et sécrétrices des bronches, cellules épithéliales des alvéoles et du tissu interstitiel
- Tube digestif
 - Radionucléides dans le contenu de l'estomac et de l'intestin
 - Cellules radiosensibles dans la paroi
- Peau
 - Contamination externe → calcul de la dose au cm^2 le plus contaminé
 - Cellules basales à $70 \mu\text{m}$ de profondeur



Notion de coefficient de dose



Incorporation = 1 Bq

Biocinétique

Dose absorbée pour 1 Bq incorporé

w_R

w_T

Intégration sur 50 ans

Dose efficace engagée pour 1 Bq incorporé

= DPUI

= coefficient de dose

= e_{50}

= $h(g)$

Estimation de la dose interne

Dose efficace engagée suite à une contamination interne

Arrêté du 1^{er} septembre 2003 relatifs aux modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants

- La dose efficace totale, E , est la somme des doses efficaces résultant d'une exposition externe et d'une exposition interne :

$$E = E_{\text{externe}} + E_{\text{interne}}$$

- La dose efficace engagée résultant d'une exposition interne est déterminée par :

$$E_{\text{interne}} = \underbrace{\sum_j h(g)_{j,\text{ingéré}} A_{j,\text{ingéré}}}_{\text{ingestion}} + \underbrace{\sum_j h(g)_{j,\text{inhalé}} A_{j,\text{inhalé}}}_{\text{inhalation}}$$

Dose efficace engagée suite à une contamination interne

$$E_{interne} = \sum_j h(g)_{j,ingéré} A_{j,ingéré} + \sum_j h(g)_{j,inhalé} A_{j,inhalé}$$

- $A_{j,ingéré}$ et $A_{j,inhalé}$ = activités incorporées par ingestion ou par inhalation du radionucléide j (exprimées en Bq)
- $h(g)_{j,ingéré}$ et $h(g)_{j,inhalé}$ = doses efficaces engagées par unité d'incorporation du radionucléide j (exprimées en Sv.Bq⁻¹) ingéré ou inhalé par un individu du groupe d'âge g

= DPUI = e_{50} = coefficient de dose...

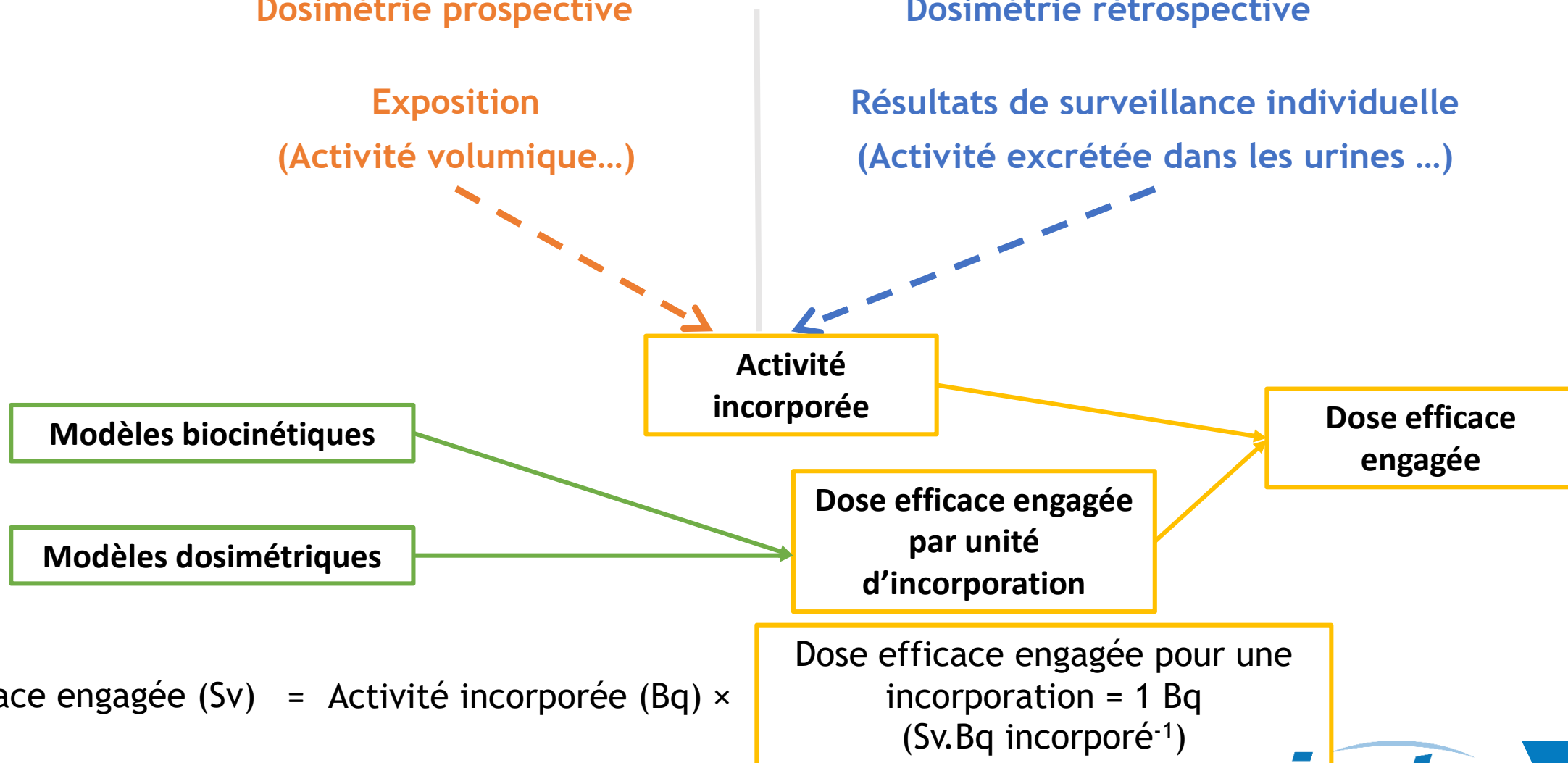
Estimation de la dose interne

Dosimétrie prospective

Exposition
(Activité volumique...)

Dosimétrie rétrospective

Résultats de surveillance individuelle
(Activité excrétée dans les urines ...)

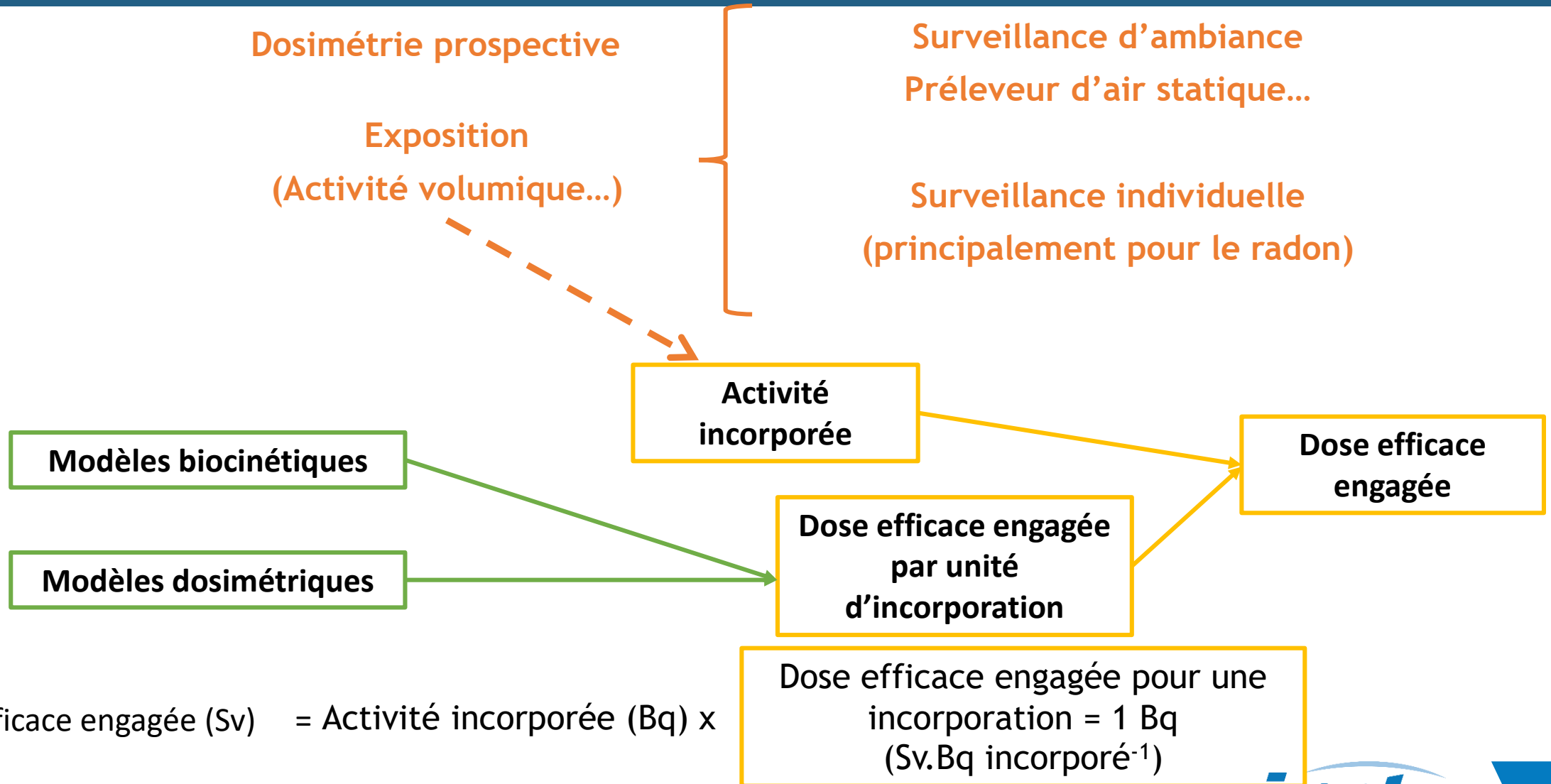


$$\text{Dose efficace engagée (Sv)} = \text{Activité incorporée (Bq)} \times$$

$$\text{Dose efficace engagée pour une incorporation} = 1 \text{ Bq} \text{ (Sv.Bq incorporé}^{-1}\text{)}$$

Estimation de la dose : dosimétrie prospective

Estimation de la dose interne



Surveillance d'ambiance

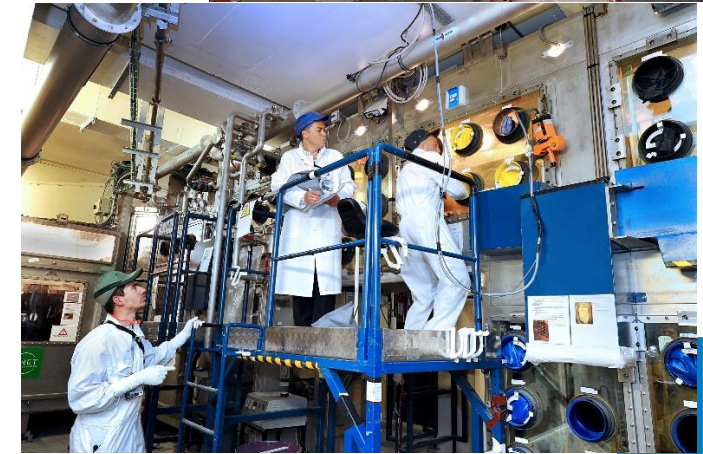
Préleveurs d'air statiques pour la mesure de la concentration dans l'air

- Préleveurs d'air sur filtre ou cartouche (PAI) / barboteurs ^3H ou ^{14}C
- A_{conc} : activité volumique ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

La surveillance d'ambiance peut également fournir des informations sur les formes physico-chimiques des aérosols radioactifs (DAMA, type d'absorption, composition isotopique)



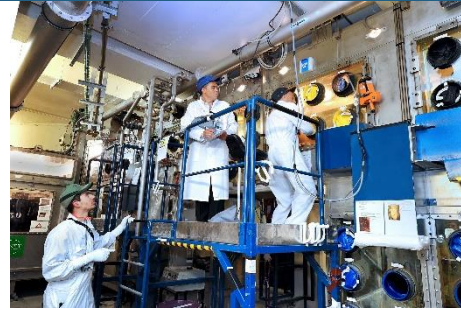
P.Dumas / CEA



L.Godart / CEA

Estimation de la dose interne

Dosimétrie prospective



Concentration dans l'air (Bq.m^{-3})

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

Durée d'exposition (h)

Activité incorporée = $A_{conc} \times D_{resp} \times t_{expo}$

Modèles biocinétiques

Modèles dosimétriques

Dose efficace engagée par unité d'incorporation

Dose efficace engagée

Dose efficace engagée pour une incorporation = 1 Bq ($\text{Sv.Bq incorporé}^{-1}$)

Dose efficace engagée (Sv) = Activité incorporée (Bq) ×

Exercice 1

Pendant une opération de démantèlement, un travailleur pourrait être exposé à une concentration dans l'air de 150 Bq.m^{-3} de ^{137}Cs .

Quelle est la dose prévisionnelle considérant une durée d'exposition de 800 heures et une activité intense de l'opérateur ?

$$E = A_{\text{incorporée}} \times DPUI$$

E = dose efficace engagée, $DPUI = 6,7 \cdot 10^{-9} \text{ Sv.Bq}^{-1}$ pour ^{137}Cs

$$A_{\text{incorporée}} = A_{\text{conc}} \times D_{\text{resp}} \times t_{\text{expo}}$$

$D_{\text{resp}} = 1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour une activité intense (CIPR Publication 66)

$$E = 150 \times 1,7 \times 800 \times 6,7 \cdot 10^{-9} = 0,0014 \text{ Sv} = 1,4 \text{ mSv}$$

Estimation de la dose en cas d'incident de contamination interne

Contexte réglementaire

Article R.4451-65 du code du travail

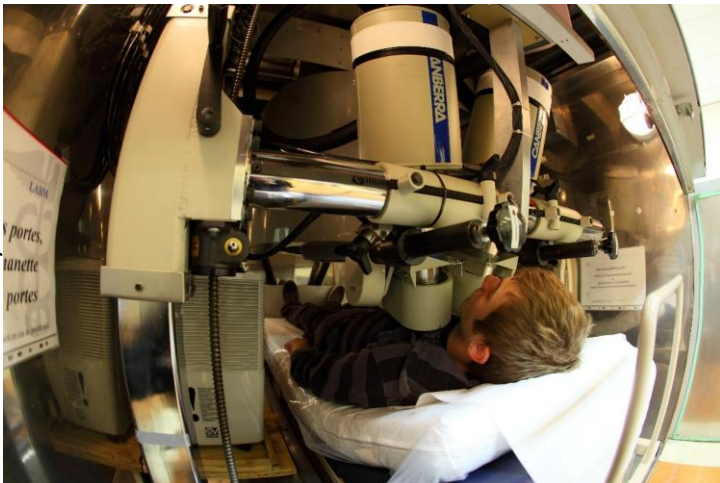
- II. La surveillance dosimétrique individuelle liée à l'exposition interne est réalisée au moyen de **mesures d'anthroporadiométrie ou d'analyses de radio-toxicologie** prescrites par le **médecin du travail** et confiées à un service de santé au travail ou à un laboratoire de biologie médicale accrédités.

Sur la base du résultat de ces examens, **le médecin du travail calcule la dose engagée par le travailleur avec l'appui technique, le cas échéant, du conseiller en radioprotection.**

Suivi de la contamination interne

Technique adaptée à l'élément recherché :

- Anthroporadiométrie,
- Analyse biologique (urines, selles...),
- Mouchages,
- Prélèvements,
- ...



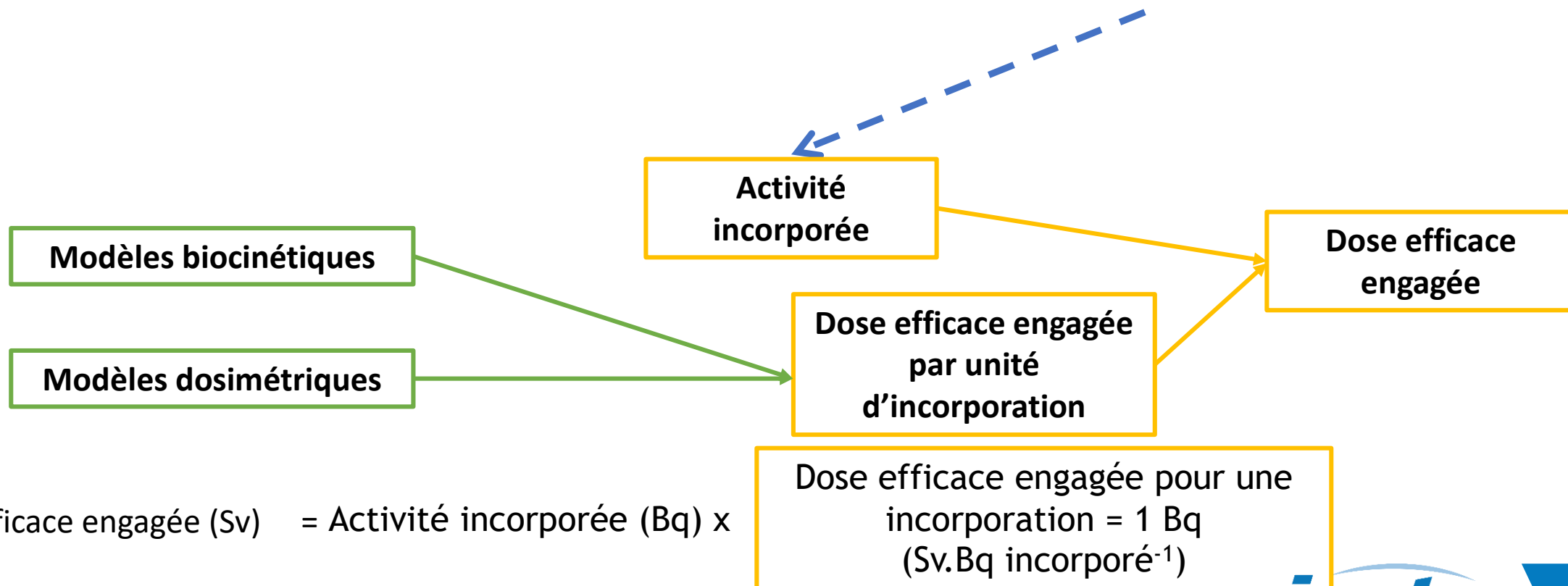
G. Lesénéchal / CEA



Estimation de la dose interne

Dosimétrie rétrospective

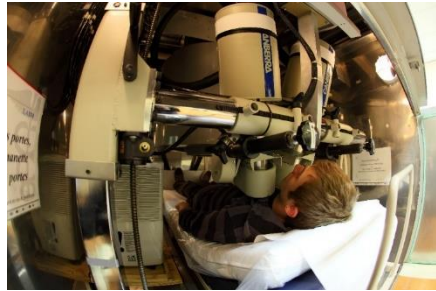
Résultats de surveillance individuelle
(Activité excrétée dans les urines ...)



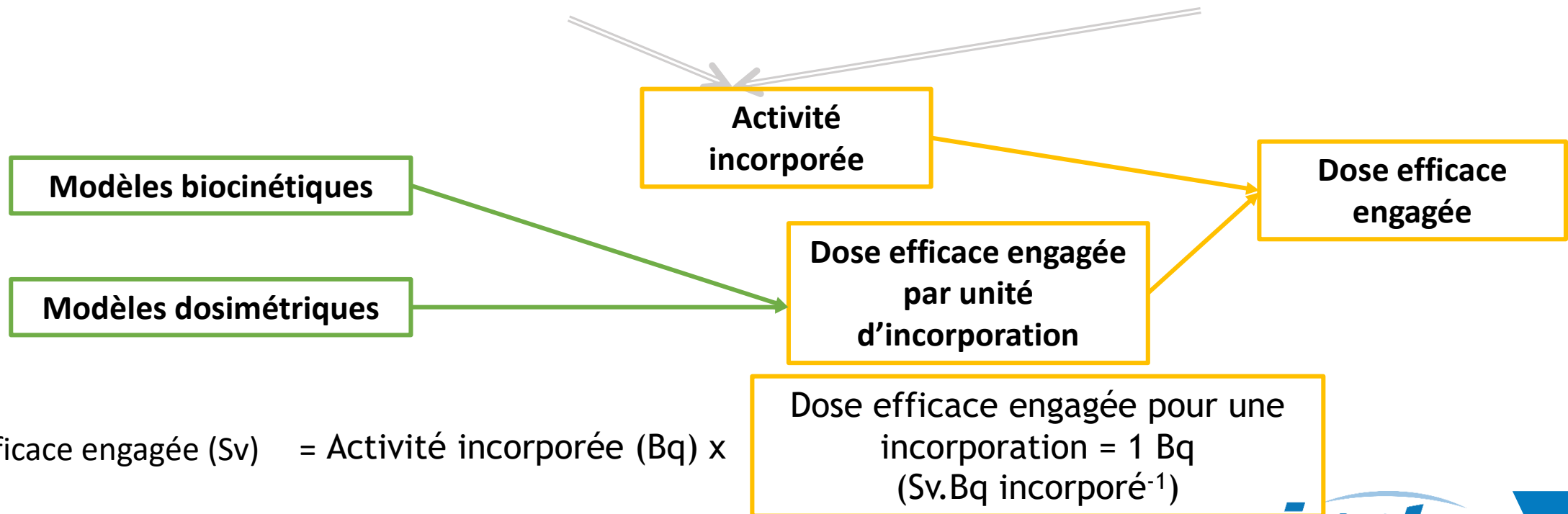
$$\text{Dose efficace engagée (Sv)} = \text{Activité incorporée (Bq)} \times$$

Dose efficace engagée pour une incorporation = 1 Bq
(Sv.Bq incorporé⁻¹)

Estimation de la dose interne



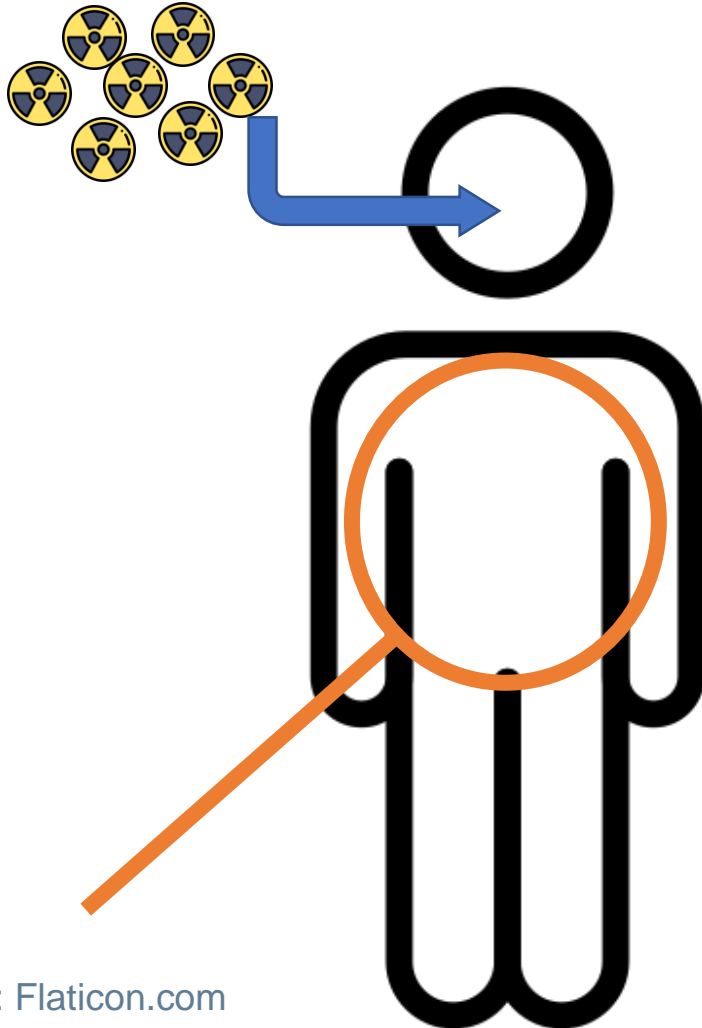
Fraction de l'activité
retenue/excrétée
= mesure obtenue en fonction du
temps pour 1 Bq incorporé



$$\text{Dose efficace engagée (Sv)} = \text{Activité incorporée (Bq)} \times$$

$$\text{Dose efficace engagée pour une incorporation = 1 Bq (Sv.Bq incorporé}^{-1}\text{)}$$

Notion de coefficient de dose

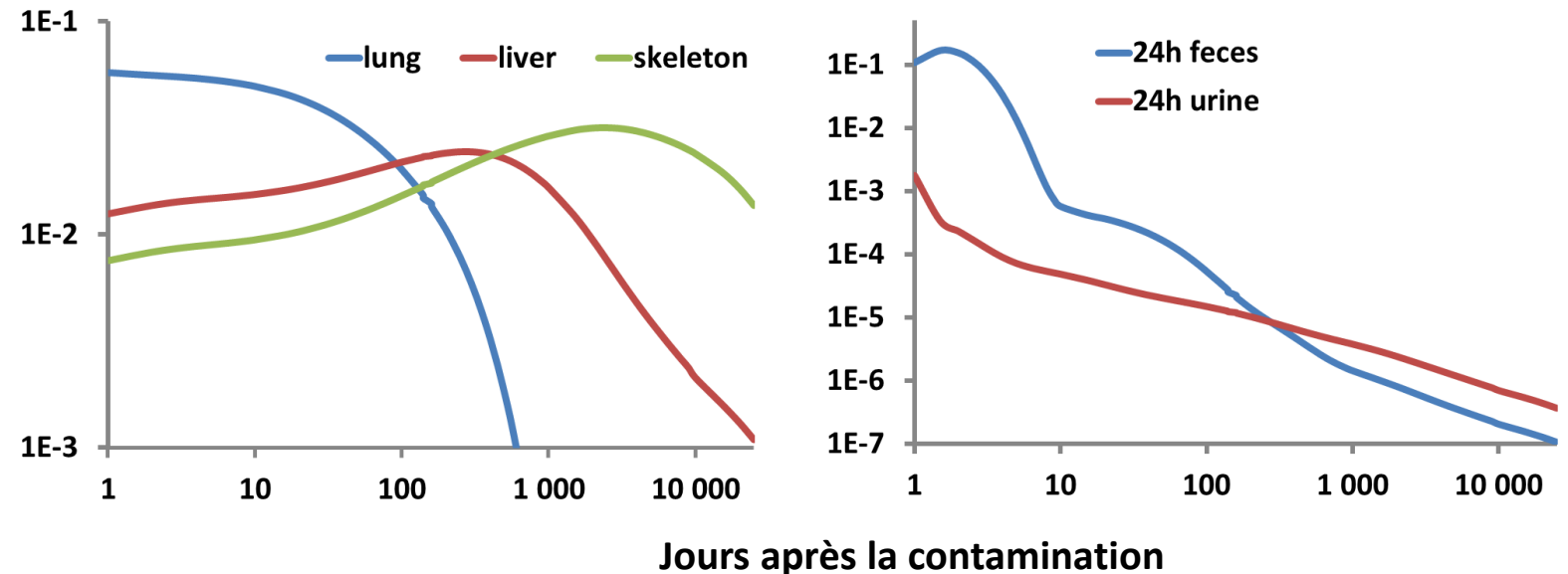


Incorporation = 1 Bq

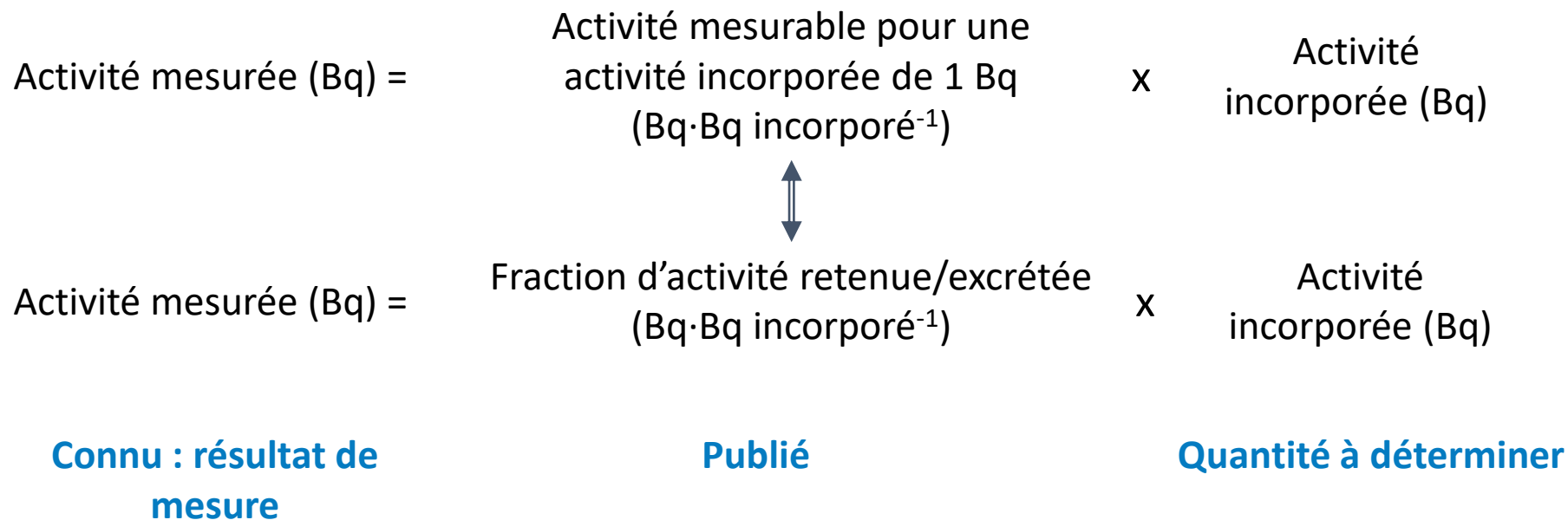
Biocinétique

Fraction de l'activité excrétée et retenue dans les organes

Inhalation aigue de particules d'Am-241 d'un DAMA de 5 µm, absorption de type M



Estimation de la dose



Activité mesurée t jours après l'incorporation (Bq or Bq.j⁻¹)

Activité incorporée (Bq) =

Fraction d'activité excrétée/retenue t jours après l'incorporation (Bq·Bq incorporé⁻¹ ou Bq.j⁻¹·Bq incorporé⁻¹)

Estimation de la dose

$$\text{Activité incorporée (Bq)} = \frac{\text{Activité mesurée } t \text{ jours après l'incorporation (Bq or Bq.j}^{-1}\text{)}}{\text{Fraction de l'activité excrétée/retenue } t \text{ jours après l'incorporation (Bq.Bq incorporé}^{-1} \text{ ou Bq.j}^{-1} \cdot \text{Bq incorporé}^{-1}\text{)}}$$

Déterminée à partir des modèles biocinétiques

Dépend :

- du radionucléide,
- de la voie d'incorporation,
- du rythme d'incorporation (chronique vs aiguë),
- du délai entre l'incorporation et la mesure,
- de la forme physico-chimique,
- de la nature de l'échantillon (urine, selle, poumon...).

Publiée par la CIPR

Exercice 2



200 Bq d'iode 131 sont détectés dans la thyroïde d'un travailleur à l'occasion d'une surveillance de routine tous les 14 jours.

Les conditions de travail permettent de considérer que l'exposition est associée à l'inhalation de particules d'iode-131.

Quelles informations sont nécessaires pour évaluer la dose efficace engagée ?

Exercice 2

Données nécessaires pour calculer la dose efficace engagée à partir du résultat de mesure :

- Résultat de mesure
 - Fraction d'activité retenue ou excrétée correspondante à la mesure
 - Coefficient de dose
- } Incorporation

Informations permettant de choisir le coefficient de dose et la fraction retenue/excrétée :

- Radionucléide(s): connu, ^{131}I
- Voie d'incorporation : connue, inhalation
- Mode d'incorporation : inconnu, aigue par défaut
- Propriétés physico-chimiques
 - DAMA : inconnu, 5 μm par défaut
 - Type d'absorption : type F pour l'iode
- Délai entre l'analyse et l'incorporation : inconnu, défini par défaut au milieu de l'intervalle de la période de surveillance (7 jours entre l'analyse et l'incorporation)

Calcul de l'activité incorporée

CIPR 78

Table A.6.17. Special monitoring: predicted values (Bq per Bq intake) for inhalation of ^{131}I

Time after intake (d)	Type F		Vapour	
	Thyroid	Daily urinary excretion	Thyroid	Daily urinary excretion
1	1.2E-01	2.8E-01	2.3E-01	5.3E-01
2	1.2E-01	2.3E-02	2.2E-01	4.3E-02
3	1.1E-01	1.4E-03	2.0E-01	2.5E-03
4	9.9E-02	1.5E-04	1.9E-01	2.7E-04
5	9.0E-02	8.9E-05	1.7E-01	1.7E-04
6	8.2E-02	9.6E-05	1.5E-01	1.8E-04
7	7.4E-02	1.0E-04	1.4E-01	1.9E-04
8	6.8E-02	1.1E-04	1.3E-01	2.0E-04
9	6.2E-02	1.1E-04	1.2E-01	2.1E-04
10	5.6E-02	1.1E-04	1.1E-01	2.1E-04

$$\text{Activité incorporée (Bq)} = \frac{\text{Activité mesurée } t \text{ jours après l'incorporation (Bq ou Bq.j}^{-1}\text{)}}{\text{Fraction d'activité excrétée/retenue } t \text{ jours après l'incorporation (Bq.Bq incorporé}^{-1} \text{ ou Bq.j}^{-1} \cdot \text{Bq incorporé}^{-1}\text{)}} = \frac{200}{0,074} = 2,7 \text{ kBq}$$

Estimation de la dose

CIPR 78

Table A.6.2. Dose coefficients

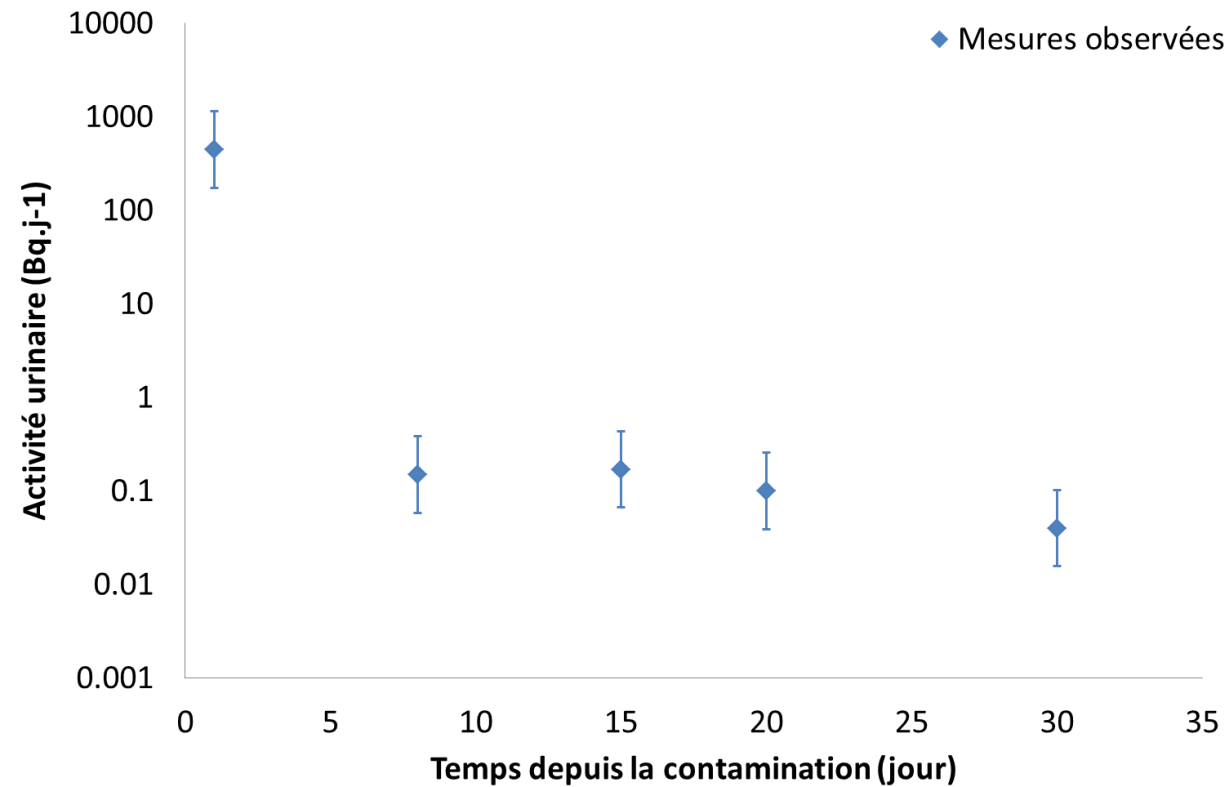
Nuclide	$t_{1/2}$	Type	Class	Inhalation	
				f_1	$e(50), Sv Bq^{-1}$
I-125	60.1 d	F	—	1.0	7.3E-09
		F	SR-1 ^a	1.0	1.4E-08
I-129	1.57E+07 y	F	—	1.0	5.1E-08
		F	SR-1	1.0	9.6E-08
I-131	8.04 d	F	—	1.0	1.1E-08
		F	SR-1	1.0	2.0E-08

$$E = A_{incorporée} \times DPUI$$

$$E = 1,1 \cdot 10^{-8} \times 2700 = 2,7 \cdot 10^{-5} Sv = 27 \mu Sv$$

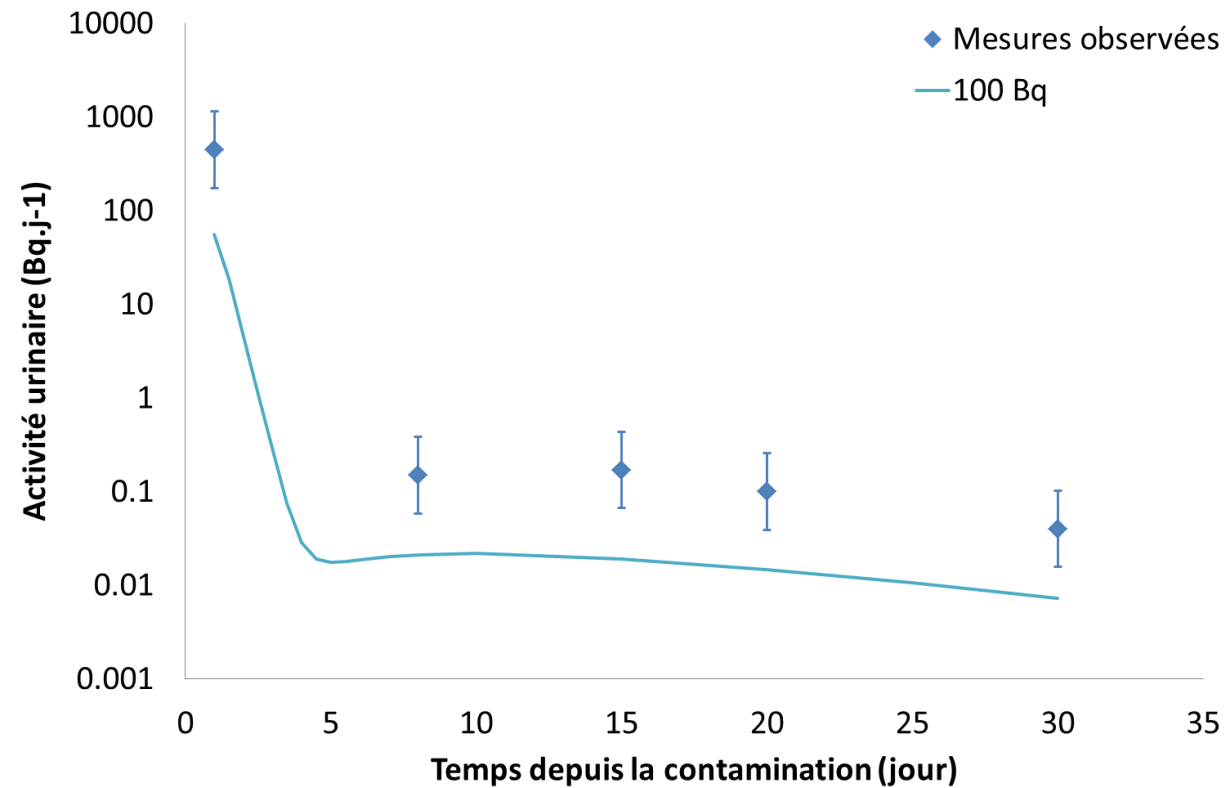
Estimation de l'incorporation si plusieurs mesures

Détermination de l'activité incorporée par **méthode du maximum de vraisemblance**.



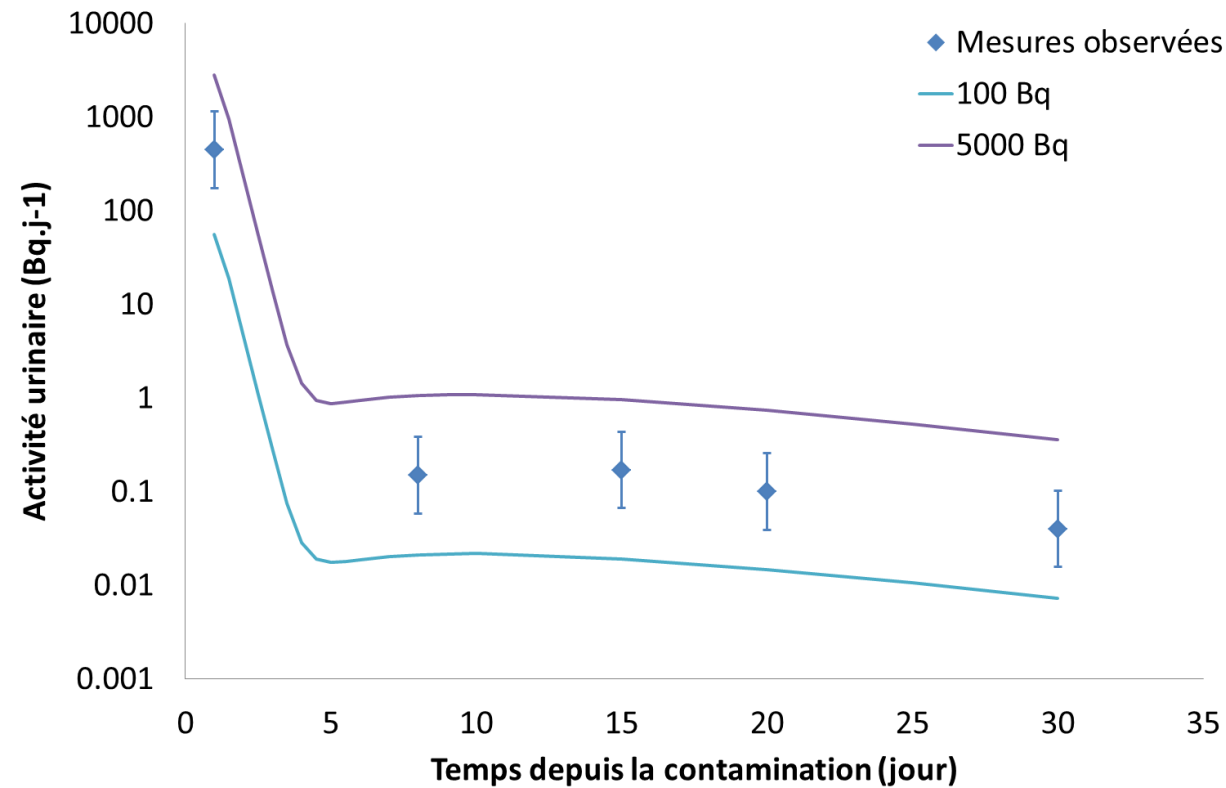
Estimation de l'incorporation si plusieurs mesures

Détermination de l'activité incorporée par **méthode du maximum de vraisemblance**.



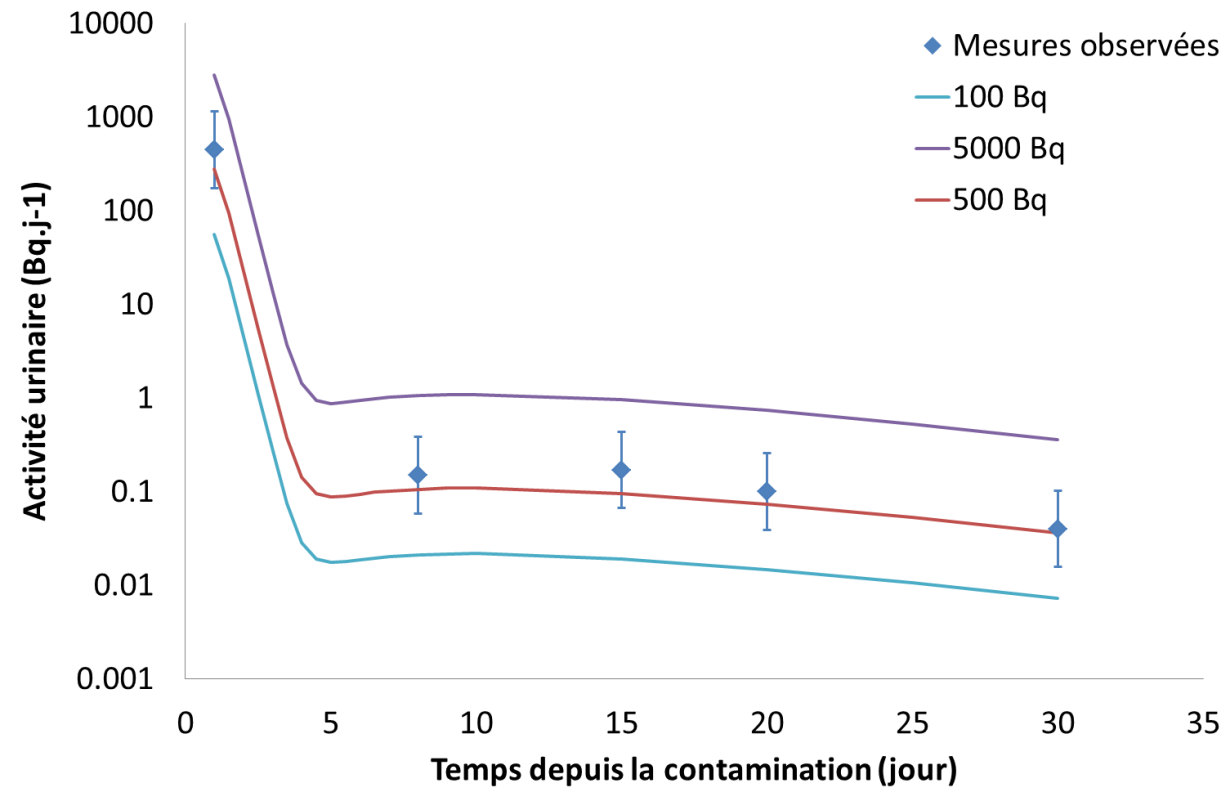
Estimation de l'incorporation si plusieurs mesures

Détermination de l'activité incorporée par **méthode du maximum de vraisemblance**.



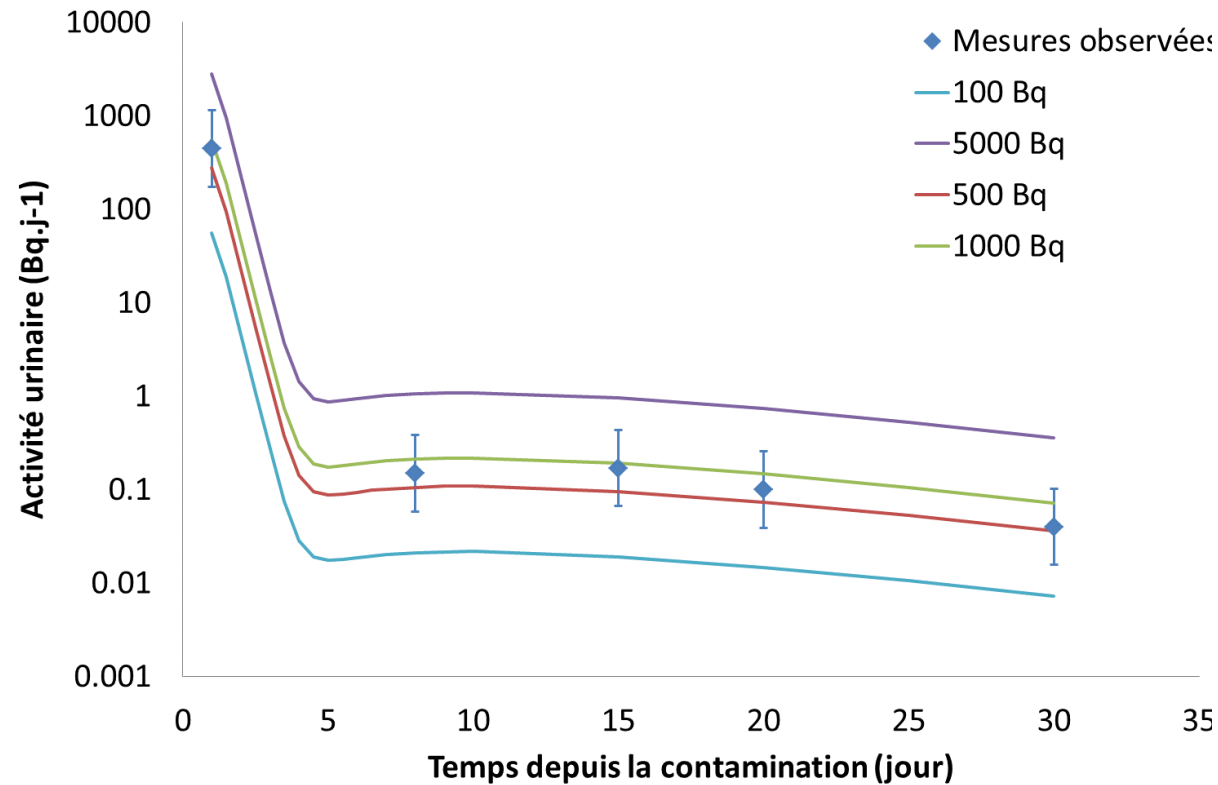
Estimation de l'incorporation si plusieurs mesures

Détermination de l'activité incorporée par **méthode du maximum de vraisemblance**.



Estimation de l'incorporation si plusieurs mesures

Détermination de l'activité incorporée par **méthode du maximum de vraisemblance**.



À VOUS DE JOUER

Exercice 3

Informations disponibles

- Un technicien a été exposé à des vapeurs d'I-131 élémentaire lors d'une manipulation de composés radiopharmaceutiques. Une mesure thyroïdienne permet de quantifier une activité retenue dans la thyroïde de 30 Bq, 3 jours après l'exposition.

Exercice 3

Corrigé

- Radionucléide contaminant : Iode-131
- Voie de contamination : inhalation
- Absorption vers le sang : vapeur d'iode élémentaire ;
- DAMA : non pertinent car sous forme vapeur.
- Date de la contamination: 3 jours avant la mesure.

$$A_{i,I-131} = \frac{A_{thyroïde,I-131}(3)}{m(3)} = \frac{30}{2,3 \cdot 10^{-1}} = 130 \text{ Bq}$$

$$E_{I-131} = A_{i,I-131} \times e_{50} = 130 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 2,2 \mu\text{Sv}$$

Exercice 4

Informations disponibles

- Dans le cadre d'une surveillance de routine, un examen urinaire est réalisé tous les 6 mois chez des travailleurs exposés à l'uranium naturel sous des formes particulières très solubles.
- Pour l'un de ces travailleurs, des activités de 15 mBq par 24h en U-234, et 18 mBq par 24h en U-238 ont été quantifiées. La mesure en U-235 est, quant à elle, inférieure à la limite de détection.

Exercice 4

Corrigé

- Radionucléides contaminants : uranium naturel avec une composition isotopique en activité en U-234 de 48,72 %, U-238 de 49,03 % et U-235 de 2,26 % ;
- Voie de contamination : inhalation, en l'absence d'information orientant vers une autre voie de contamination ;
- Absorption vers le sang : Type F car composés très solubles ;
- DAMA = 5 μm , par défaut.
- Date de la contamination : 90 jours avant la mesure, correspondant au milieu de l'intervalle de surveillance par défaut

Exercice 4

Corrigé

- Les activités incorporées en U-234 et U-238 peuvent être calculées à partir des mesures :

$$A_{i,U-234} = \frac{A_{urine,U-234}(90)}{m(90)} = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{5,9 \cdot 10^{-5}} = 254 \text{ Bq},$$

$$A_{i,U-238} = \frac{A_{urine,U-238}(90)}{m(90)} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{5,9 \cdot 10^{-5}} = 305 \text{ Bq}.$$

- L'activité incorporée en U-235 est déterminée, quant à elle à partir de la composition isotopique et des activités incorporées des isotopes mesurés :

$$A_{i,U-235} = A_{i,U-238} \times \frac{\%U-235}{\%U-238} = 305 \times \frac{2,26}{49,03} = 14 \text{ Bq ou}$$
$$A_{i,U-235} = A_{i,U-234} \times \frac{\%U-235}{\%U-234} = 254 \times \frac{2,26}{48,72} = 12 \text{ Bq}$$

Exercice 4

Corrigé

- La dose efficace engagée pour chacun des isotopes est égale à :

$$E_{U-234} = A_{i,U-234} \times e_{50} = 254 \times 2,5 \cdot 10^{-7} = 6,35 \cdot 10^{-5} \text{ Sv} = 63,5 \mu\text{Sv},$$

$$E_{U-235} = A_{i,U-235} \times e_{50} = 14 \times 2,3 \cdot 10^{-7} = 3,22 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 3,22 \mu\text{Sv},$$

$$E_{U-238} = A_{i,U-238} \times e_{50} = 305 \times 2,2 \cdot 10^{-7} = 6,71 \cdot 10^{-5} \text{ Sv} = 67,1 \mu\text{Sv}.$$

- Soit une dose efficace engagée totale de :

$$E_{tot} = E_{U-234} + E_{U-235} + E_{U-238} = 63,5 + 3,2 + 67,1 = 133,8 \mu\text{Sv}.$$

Exercice 5

Informations disponibles

- Dans le cadre du recyclage des détecteurs de fumée contenant des sources en américium, un travailleur est surveillé par des mesures urinaires régulières. L'un des examens permet de mettre en évidence une contamination en Am-241. Après enquête, il s'avère qu'il s'est piqué, 7 jours avant, avec un objet contaminé. Une seconde analyse urinaire est prescrite par le médecin et réalisée 10 jours après la contamination. Les activités mesurées dans les urines sont :

- $A_{urine,Am-241}(7) = 20 \text{ mBq.j}^{-1}$
- $A_{urine,Am-241}(10) = 19 \text{ mBq.j}^{-1}$

Exercice 5

Corrigé

- Radionucléide contaminant : Am-241
- Voie de contamination : injection
- Absorption vers le sang : non pertinent
- DAMA : non pertinent
- Date de la contamination: 7 jours avant la première mesure, 10 jours avant la seconde.

Exercice 5

Corrigé

- L'activité incorporée en Am-241 peut être calculée :
 - à partir de la mesure réalisée 7 jours après la contamination :

$$A_{i,Am-241,7 \text{ jours}} = \frac{A_{urine,Am-241}(7)}{m(7)} = \frac{0,02}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 17 \text{ Bq} ;$$

- à partir de la mesure réalisée 10 jours après la contamination :

$$A_{i,Am-241,10 \text{ jours}} = \frac{A_{urine,Am-241}(10)}{m(10)} = \frac{0,019}{9,0 \cdot 10^{-4}} = 21 \text{ Bq}$$

- L'activité incorporée moyenne en Am-241 peut être calculée en utilisant une moyenne géométrique :

$$A_{i,Am-241} = \sqrt{A_{i,Am-241,7 \text{ jours}} \times A_{i,Am-241,10 \text{ jours}}} = \sqrt{17 \times 21} = 19 \text{ Bq}.$$

Exercice 5

Corrigé

$$E_{Am-241} = A_{i,Am-241} \times e_{50} = 19 \times 1,2 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-3} Sv = 2,3 mSv$$

Merci pour votre attention et votre participation

Des questions ?

Envie d'en savoir plus ?



- Fiche technique « Contamination interne : comment estimer la dose en pratique ? » téléchargeable sur le site internet de la SFRP
- Formation IRSN/INSTN de 1,5 jours
 - Estimation de la dose suite à une contamination interne
 - ½ journée dédiée au calcul de dose sur le logiciel MODOSE
 - <https://instn.cea.fr/formation/estimation-de-la-dose-suite-a-une-contamination-interne/>

