

DOSIMETRIE INTERNE – UN SUJET QUI FAIT PEUR... QUELQUES PISTE POUR MIEUX LE MAITRISER



Eric Blanchardon - IRSN, Service de Dosimétrie Interne
Dr. Nicolas Blanchin – CEA, Service de Santé au Travail

BILAN ANNUEL DES EXPOSITIONS INTERNES

Selon le bilan de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France réalisé en 2015 par l'IRSN, la surveillance de l'exposition interne a représenté :

- 280.000 examens de routine réalisés, dont moins de 0,5 % considérés comme « positifs » (environ 15.000)
- 11.200 examens de surveillance spéciale réalisés, dont 16% considérés comme « positifs » (environ 1.800)
- **588 travailleurs concernés par une estimation dosimétrique**
- 2 travailleurs pour qui a été enregistrée une dose efficace engagée supérieure au niveau d'enregistrement (1 mSv)

UNE PRISE EN CHARGE EN 3 ETAPES

En France, la responsabilité de l'estimation de la dose interne est historiquement confiée au médecin du travail, seul destinataire des résultats radiotoxicologiques, considérés comme des données médicales individuelles et donc soumises au secret médical

La gestion de l'exposition interne comporte 3 étapes :

1. La prescription des examens de surveillance
2. Leur interprétation et l'estimation de la dose
3. La communication des résultats

Ces étapes sont distinctes dans le temps et mobilise des compétences spécifiques mais la connaissance de l'ensemble de la prise en charge est nécessaire pour bien maîtriser chacune des étapes.

LES PRESCRIPTIONS



LA PRESCRIPTION DES EXAMENS DE SURVEILLANCE

1- LA SURVEILLANCE SYSTÉMATIQUE

Les **protocoles de surveillance** doivent être établis pour définir à la fois la nature du ou des examens, mais aussi leur fréquence

Ces protocoles prendront en compte :

- Le type de radioisotope et sa forme chimique
- Le type de poste, les protections associées et le risque d'exposition potentielle
- Les mélanges de radionucléides
- Les contraintes techniques et l'acceptabilité socio-économique

Conseils

1. Pour l'élaboration de ces protocoles, on pourra s'appuyer sur la norme NF20553 et les recommandations de bonne pratique de la HAS
2. Evaluer périodiquement les protocoles afin de valider la pertinence du programme de surveillance

En cas d'évènement de contamination, elle comporte 3 aspects:

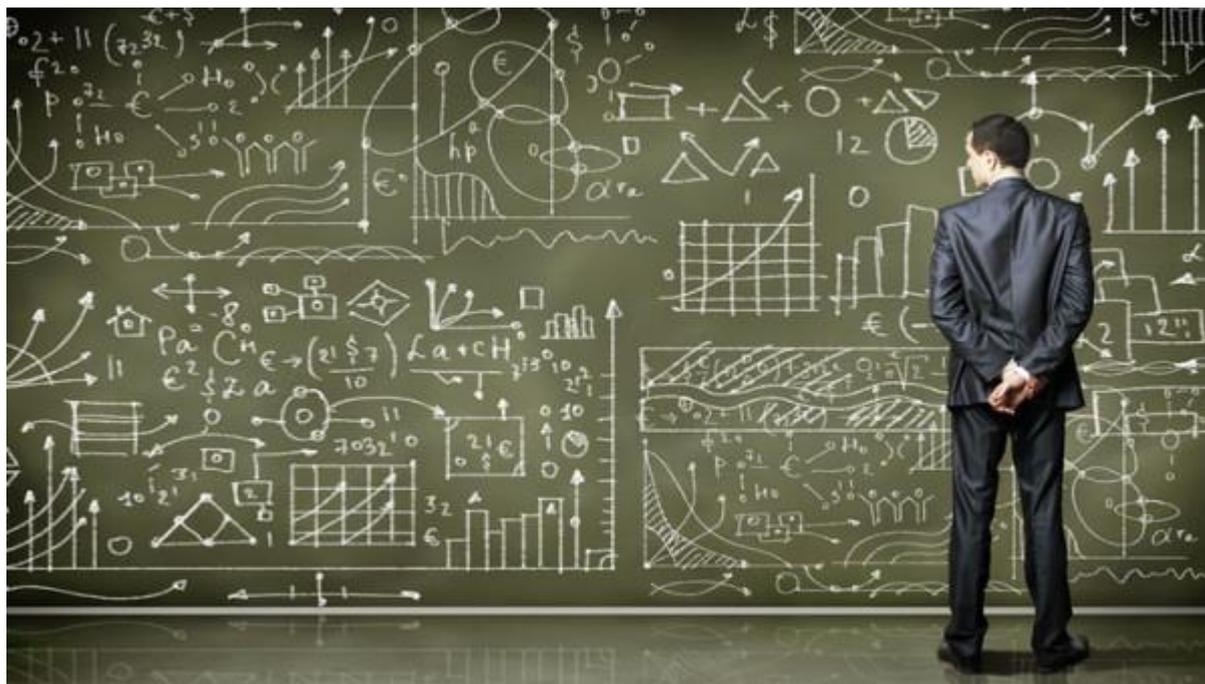
1. Le traitement
2. L'exclusion de zone
3. La prescription des examens radiotoxicologique

Les prescriptions devront prendre en compte le niveau de gravité initial de l'évènement (cf. recommandations de bonne pratique de la HAS) en s'appuyant en particulier sur les informations fournies par la radioprotection et le résultat d'analyses indicatives rapides (prélèvement de mucus nasal, comptage local d'une plaie)

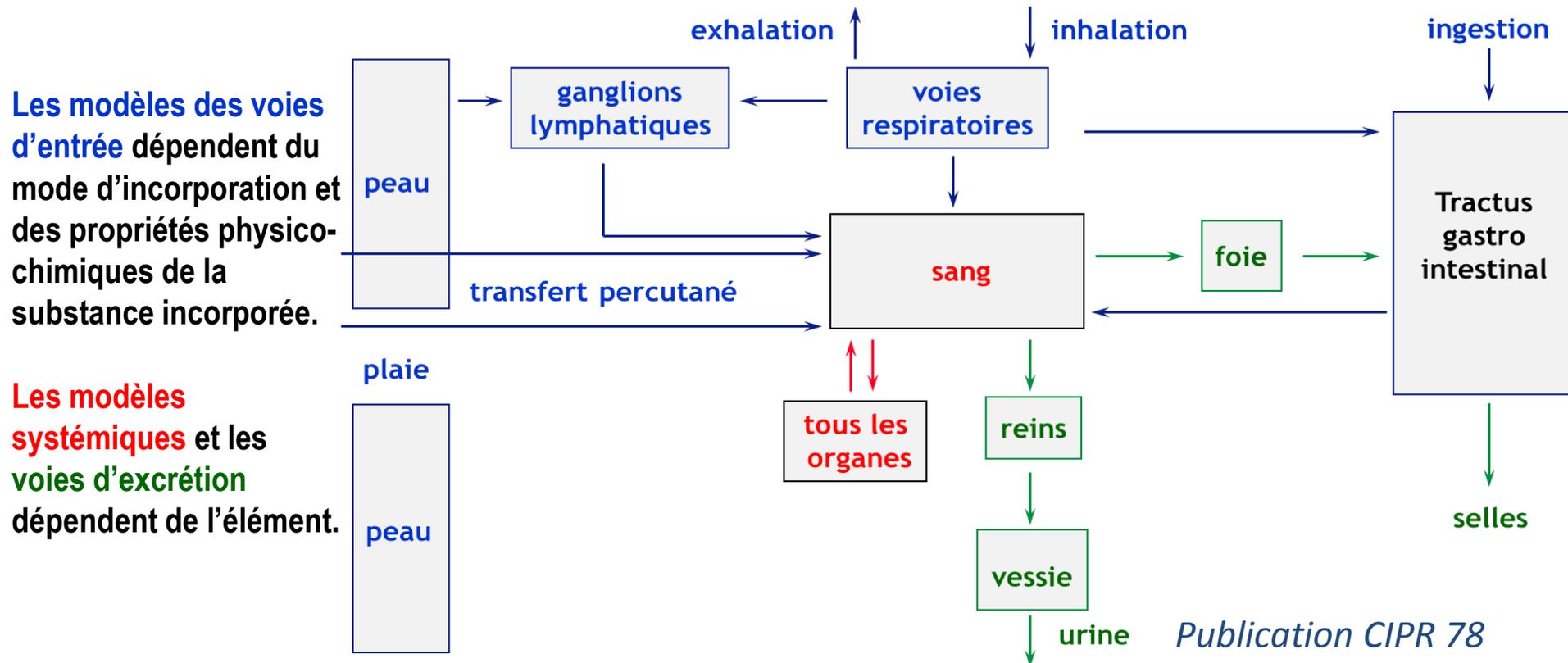
Conseils

1. Les protocoles de prescription s'appuieront sur les éléments permettant de classer un évènement en « négligeable » - « intermédiaire » ou « significatif »
2. Ne pas faire varier les prescriptions dans le temps !
3. Ne pas faire varier les prescriptions d'un salarié à l'autre !!
4. Evaluer périodiquement les protocoles afin de valider la pertinence du programme de surveillance

L'INTERPRÉTATION DOSIMÉTRIQUE

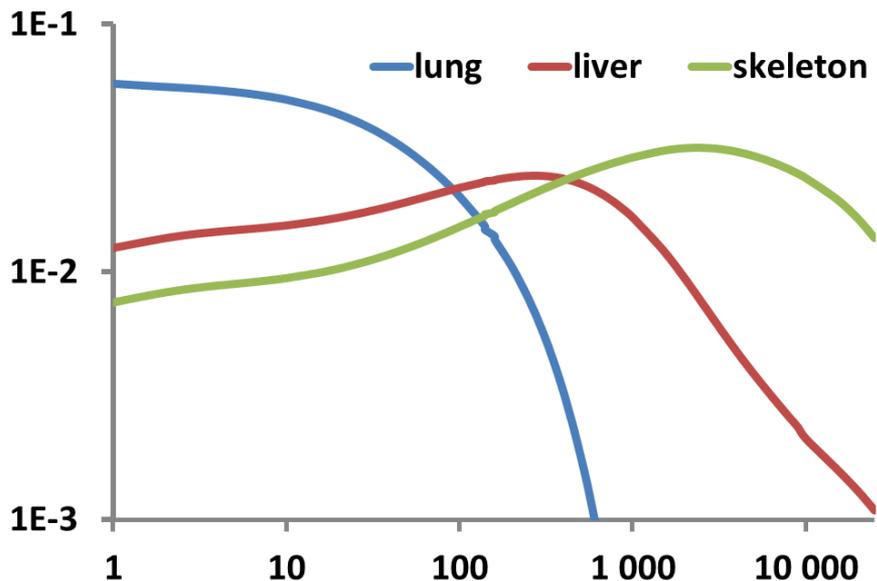


Décrivent la répartition des radionucléides dans le corps humain en fonction du temps et prédisent la rétention dans les organes, l'excrétion urinaire et fécale, ainsi que le nombre de transformations nucléaires.



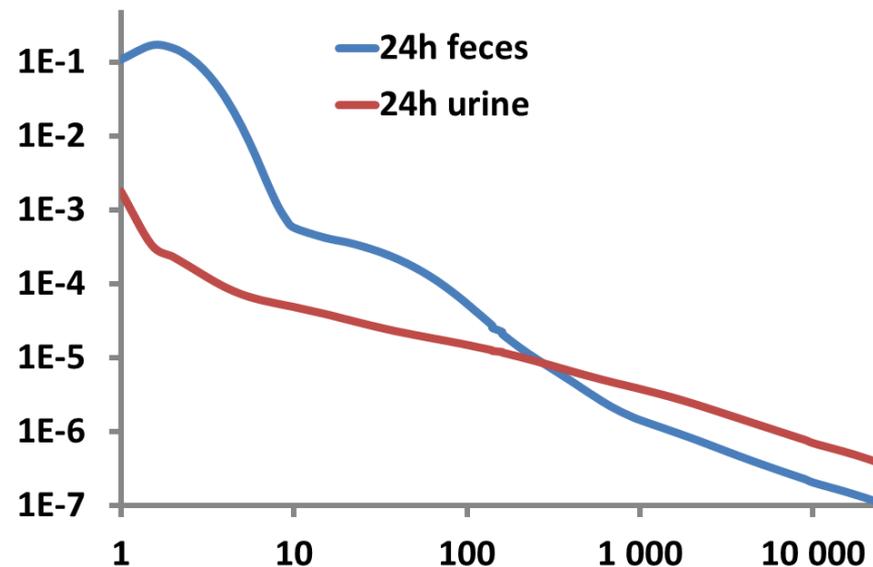
Rétention et excrétion en fonction du temps après inhalation ponctuelle de particules d'Am-241 de DAMA 5 μm et de type d'absorption M

fraction de l'activité incorporée retenue dans les organes



jours après incorporation

fraction excrétée de l'activité incorporée

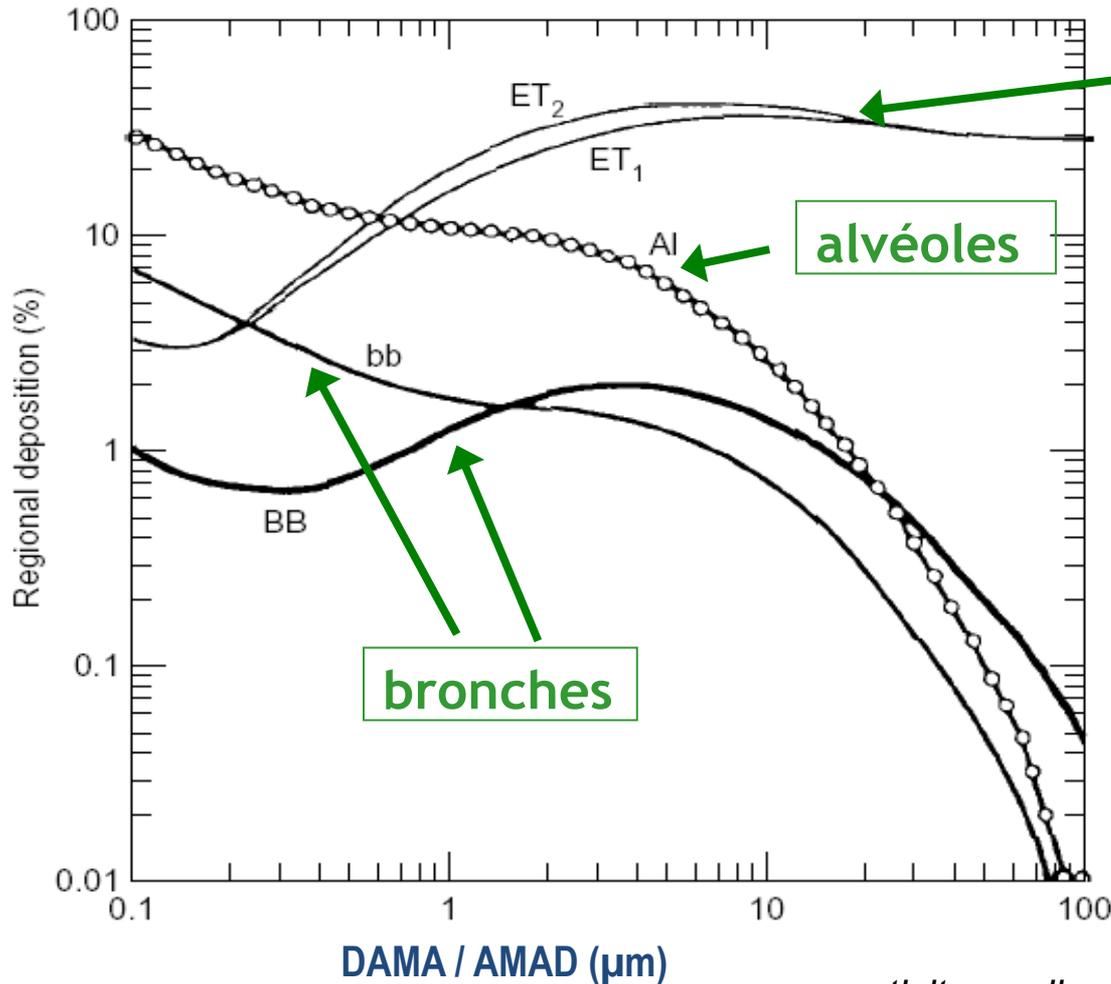


jours après incorporation

Les modèles biocinétiques sont linéaires :

rétention corporelle prévue = activité incorporée x fraction retenue

excrétion quotidienne prévue = activité incorporée x fraction excrétée



Publication CIPR 66

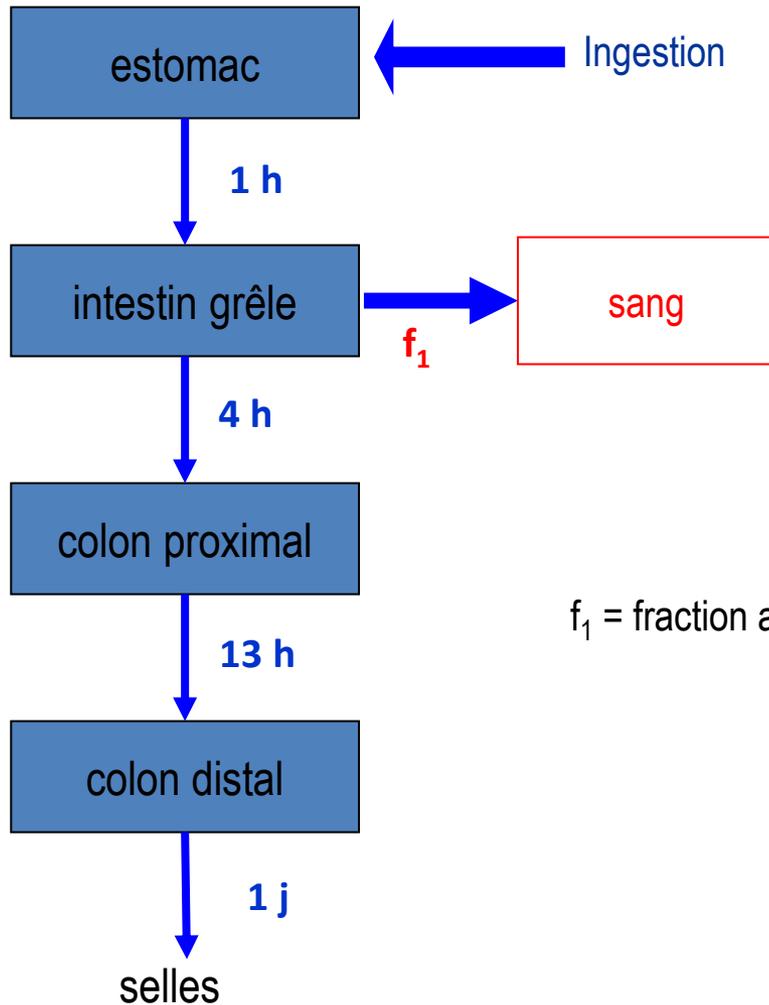
DAMA
 valeur de référence
 - public = 1 µm
 - travailleur = 5 µm

= activity median aerodynamic diameter

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

F = fast = rapide, M = moderate = modérée, S = slow = lente

élément	type	composé
cobalt	M	composés non spécifiés
	S	oxydes, hydroxydes, halogénures et nitrates
iode	F	tous composés
césium	F	tous composés
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

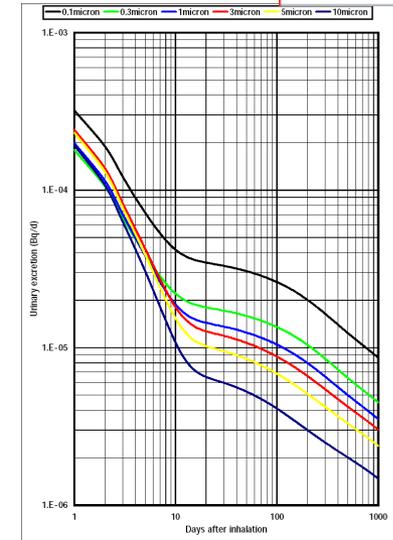


Publication CIPR 30

f_1 = fraction absorbée de l'activité ingérée

de l'activité incorporée prévues par les modèles biocinétiques

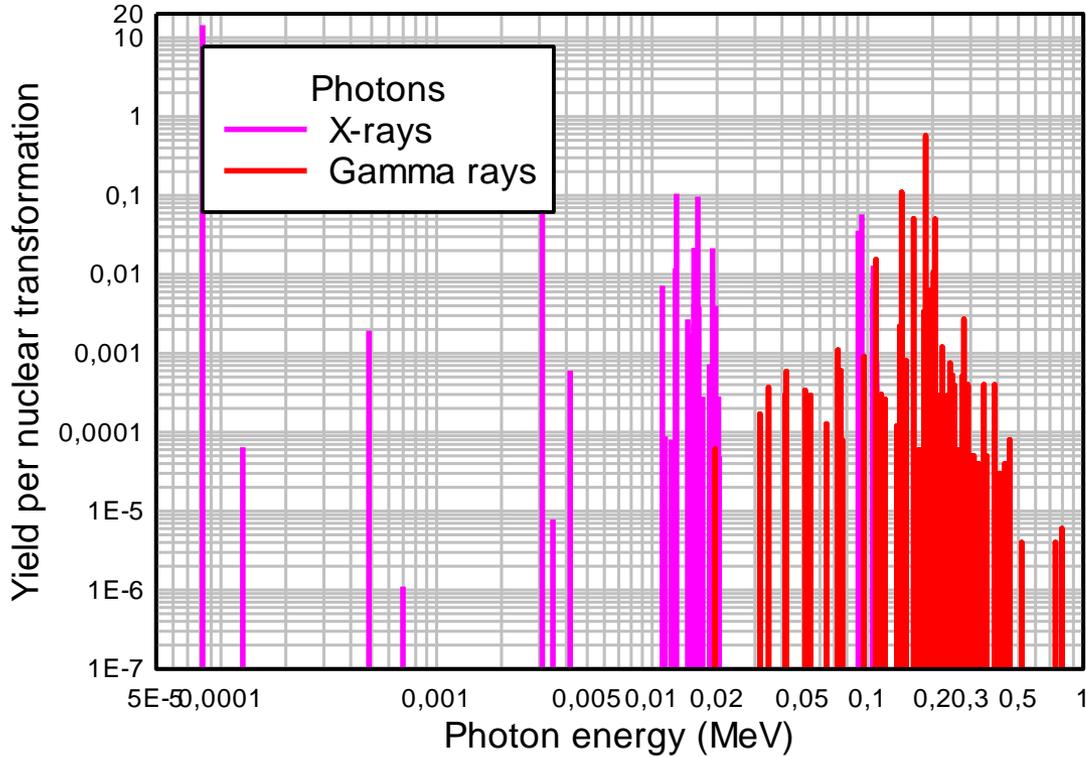
MONDAL 3



- ICRP, 1997. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. **ICRP Publication 78**. Ann. ICRP 27 (3-4).
- International Atomic Energy Agency (2004) Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides, **Safety Series No. 37**. IAEA, Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1190/Pub1190_web.pdf
- International Organization for Standardization Radiation Protection – Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure **ISO 27048** (ISO: Geneva) (2011).
- N.Ishigure, T.Nakano, H.Enomoto and M.Matsumoto **MONDAL3** (National Institute of Radiological Sciences, Japan). <http://www.nirs.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3.php>
- **Logiciel de dosimétrie interne**

En cours de révision par la CIPR pour la série de publications *Occupational Intakes of Radionuclides*

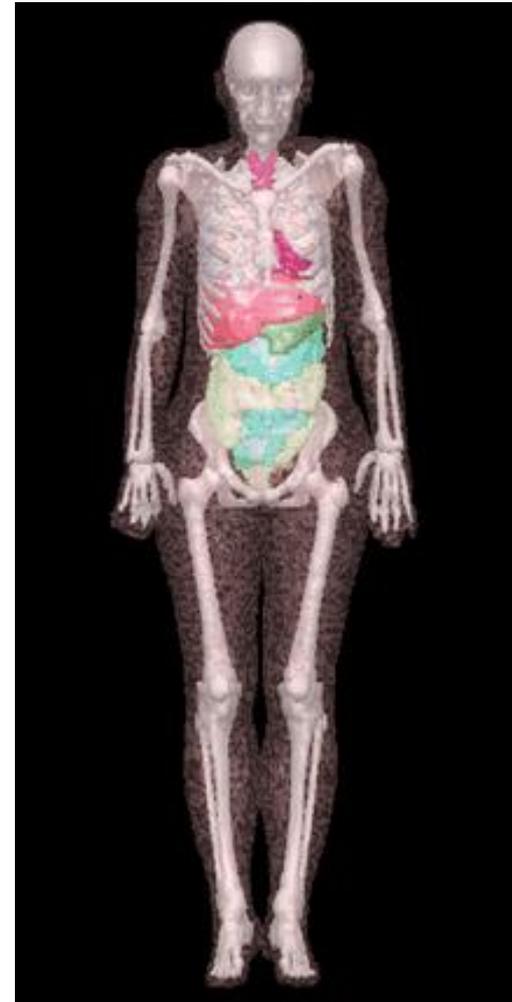
U-235 Photon Line Spectrum



Données nucléaires

Publication CIPR 107

+ code Monte Carlo de transport des particules



Fantôme de référence

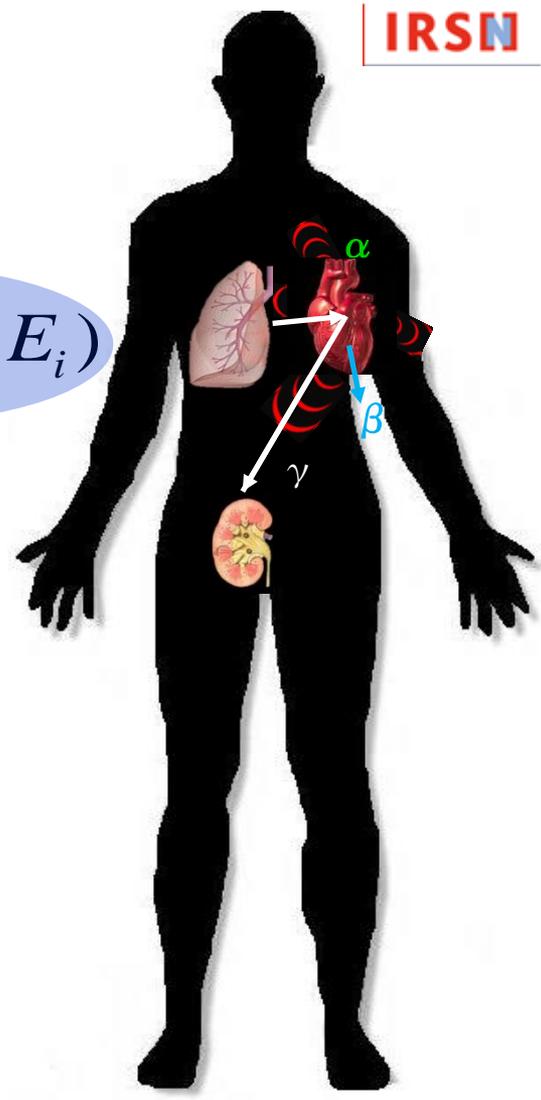
Publication CIPR 110

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

modèles
biocinétiques

données
nucléaires

fantôme + code
Monte Carlo



\tilde{A} : nombre de transformations nucléaires

Y_i : nombre de particules émises par transformation nucléaire

E_i : énergie de la particule

Φ Fraction massique absorbée (SAF)

Dose équivalente $H_T = \sum_R w_R \times D_{T,R}$ w_R = facteur de pondération pour le rayonnement R

Dose efficace $E = \sum_T w_T \times H_T$ w_T = facteur de pondération pour le tissu T

Coefficient de dose e = dose efficace engagée sur 50 ans pour 1 Bq incorporé (Sv/Bq)

où les trouver

- ICRP, 1994. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. **ICRP Publication 68**. Ann. ICRP 24 (4).
- ICRP, 1997. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. **ICRP Publication 78**. Ann. ICRP 27 (3-4).
- ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. **ICRP Publication 119**. Ann. ICRP 41(Suppl.). [http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP Publication 119](http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20119)
- ICRP, 1998. The **ICRP database of dose coefficients** : workers and members of the public, CD-ROM version 2.01, Elsevier. <http://www.icrp.org/page.asp?id=145>
- International Atomic Energy Agency (2004) Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides, **Safety Series No. 37**. IAEA, Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1190/Pub1190_web.pdf
- **European Commission Council Directive 96/29/EURATOM** of 13 May 1996. http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/9629_en.pdf
- **Arrêté du 1er septembre 2003** définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000798700>
- **Logiciel de dosimétrie interne**

En cours de révision par la CIPR pour la série de publications *Occupational Intakes of Radionuclides*

✓ à partir d'un résultat de mesure d'activité

I = activité incorporée (Bq)

$$I = \frac{M}{m(t)}$$

M = activité mesurée dans le corps, l'urine ou les selles au temps t après incorporation (Bq). Pour des analyses urinaires ou fécales, M est l'excrétion de 24 h échantillonnée de t moins 24 h à t .

$m(t)$ = fraction retenue ou excrétée prédite par le modèle biocinétique au temps t après incorporation (Bq par Bq incorporé)

Note: Pour les échantillons urinaires ou fécaux, M est l'excrétion de 24 h collectée de t moins 24 h à t . Les mesures d'échantillons de moins de 24 h doivent être normalisées par le volume : 1.2 L (femme) / 1.6 L (homme) d'urine par jour, le taux de créatinine: 1 g (femme) / 1.7 g (homme) par jour, la densité spécifique ou la masse de cendres.

- ✓ à partir d'une valeur d'activité incorporée

$$E = I \times e$$

E = dose efficace engagée (Sv)

I = activité incorporée (Bq)

e = coefficient de dose (Sv/Bq)

- ✓ Le coefficient de dose dépend de :
 - la voie d'incorporation (inhalation, ingestion, injection, blessure)
 - la forme chimique : type d'absorption F,M,S, vapeur ou spécifique du composé pour l'inhalation; f_A or f_1 pour l'ingestion, catégories du modèle de plaie

SCÉNARIO D'EXPOSITION

Le choix d'une fraction retenue ou excrétée et d'un coefficient de dose nécessite connaître ou de supposer :

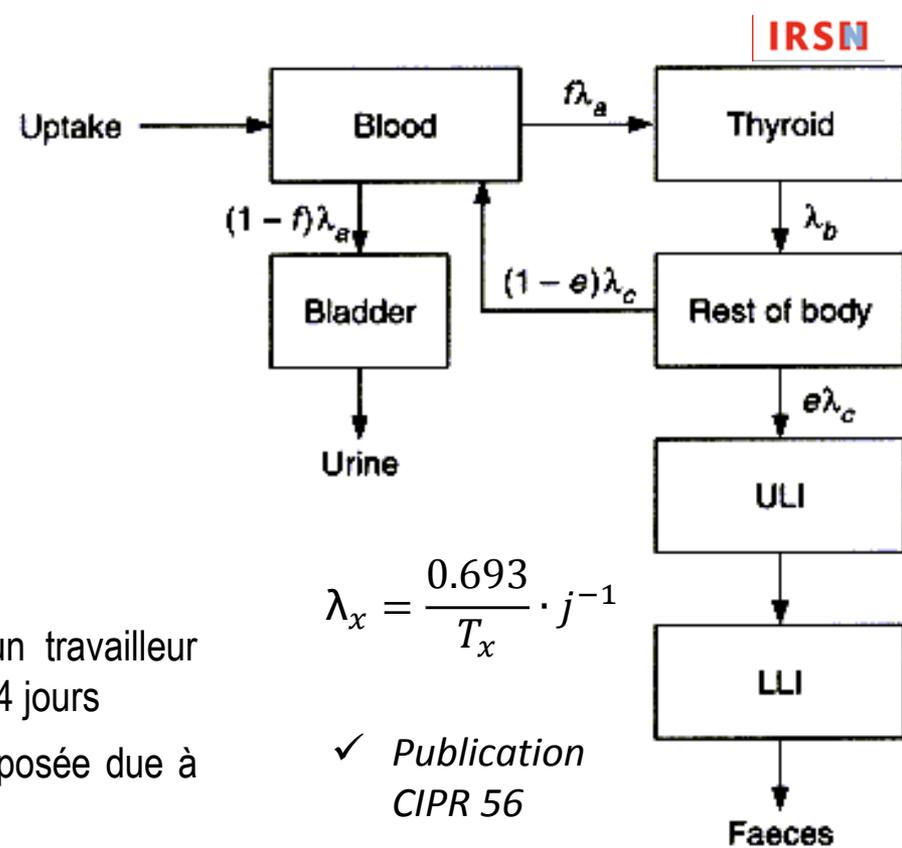
- ✓ la date d'incorporation,
- ✓ la voie d'incorporation,
- ✓ la solubilité du composé incorporé,
- ✓ la taille des particules inhalées.

L'interprétation dosimétrique d'un résultat d'analyse dépend toujours du scénario d'exposition retenu.

EXEMPLE



- ✓ 3000 Bq d' ¹³¹I sont détectés dans la thyroïde d'un travailleur durant une surveillance de routine avec une période de 14 jours
- ✓ En raison des conditions de travail, l'exposition est supposée due à l'inhalation de particules



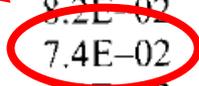
absorption pulmonaire	absorption intestinale f_1	fixation par la thyroïde f	excrétion fécale e	périodes biologiques (d)		
				sang T_a	thyroïde T_b	reste du corps T_c
Type F	1	0,3	0,2	0,25	80	12

- ✓ ¹³¹I décroît avec une période de 8 jours en émettant des rayonnements β (énergie moyenne 0,19 MeV) et γ (émission principale à 0,36 MeV)

- ✓ **Scénario d'exposition** : Inhalation de particules d'¹³¹I avec type d'absorption F et DAMA 5 µm, au milieu de l'intervalle de surveillance, i.e. 7 jours avant la mesure.

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

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



- ✓ D'après le modèle, 7.4% de l'activité incorporée est retenue dans la thyroïde après 7 jours.

$$\text{activité incorporée} = \frac{3000}{0,074} = 41 \text{ kBq}$$

✓ Publication CIPR 78

EXEMPLE : ÉVALUATION DE LA DOSE

✓ Publication CIPR 78

Table A.6.2. Dose coefficients

Nuclide	$t_{1/2}$	Type	Class	Inhalation	
				f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
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

coefficient de dose = $1,1 \cdot 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$

dose efficace engagée = $41 \text{ kBq} \times 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$
 = $4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} = \mathbf{0,45 \text{ mSv}}$



EXEMPLE : MESURE URINAIRE

- ✓ Le travailleur a collecté ses urines pendant 24 h après la mesure thyroïdienne. **Une analyse urinaire a mesuré 30 Bq d' ^{131}I .**

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

- ✓ Suivant l'analyse urinaire et le modèle biocinétique :

$$\text{activité incorporée} = \frac{30}{1,1 \cdot 10^{-4}} = 270 \text{ kBq}$$

EXEMPLE : ÉVALUATION DOSIMÉTRIQUE À PARTIR DE L'ANALYSE URINAIRE

Table A.6.2. Dose coefficients

Nuclide	$t_{1/2}$	Type	Class	Inhalation	
				f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
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

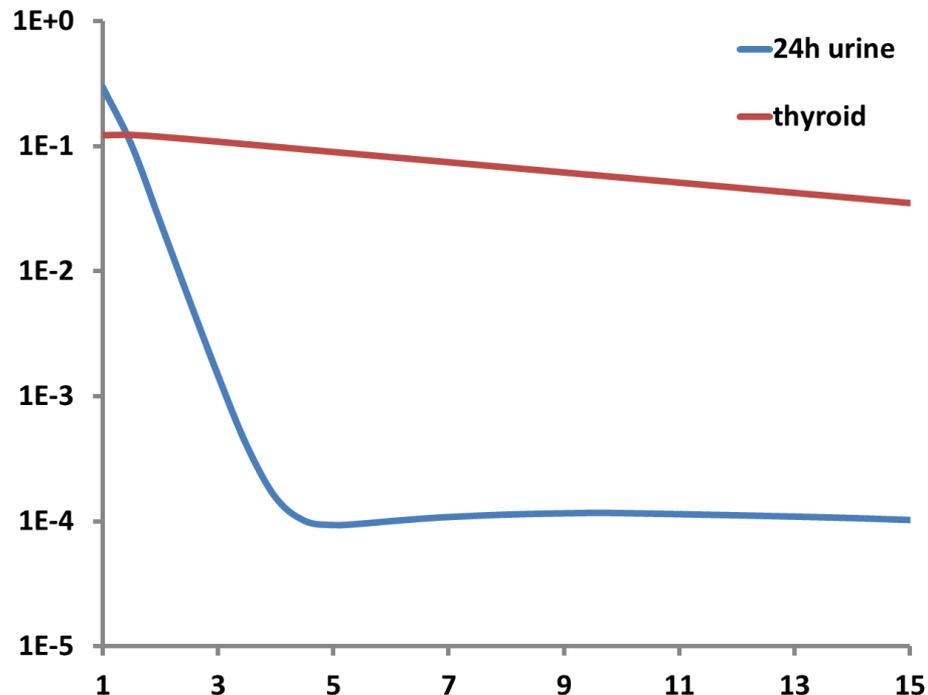
✓ coefficient de dose = $1.1 \cdot 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$

$$\begin{aligned} \text{dose efficace engagée} &= 270 \text{ kBq} \times 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1} \\ &= 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ Sv} = 3 \text{ mSv} \end{aligned}$$

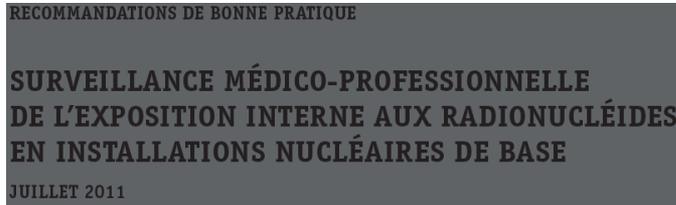
incohérent avec les 0,45 mSv estimés à partir de la mesure thyroïdienne

EXEMPLE : CHANGEMENT DU SCÉNARIO D'EXPOSITION

- ✓ L'incohérence entre les estimations d'activité incorporée suggère qu'au moins **l'une des hypothèses est fausse**. L'excrétion urinaire d' ^{131}I décroît bien plus vite que la rétention thyroïdienne pendant la période de surveillance.



- ✓ Si **l'incorporation avait eu lieu 2 jours avant la mesure thyroïdienne**, l'activité incorporée serait estimée à 25 kBq à partir de la mesure thyroïdienne, en cohérence avec 21 kBq estimés à partir de la mesure urinaire. En l'absence d'autre information, cette nouvelle hypothèse est plus fiable et l'estimation de dose est de **0,25 mSv**. Une seconde analyse urinaire devrait être réalisée après quelques jours pour confirmer cette conclusion.



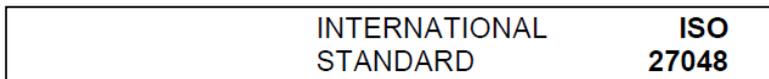
Françaises : Société française de médecine du travail (SFMT, 2011) recommandations de bonne pratique : surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en installations nucléaires de base

http://www.chu-rouen.fr/sfmt/autres/Internal_exposure_nuclear_instal_medical_monitoring_nov_2012.pdf



Européennes : EURADOS (2013) IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data

<http://www.eurados.org/~media/Files/Eurados/documents/EURADOS%20Report%202013-01%20online%20version.pdf?la=en>



norme ISO : International Organization for Standardization. Radioprotection — Estimation de la dose interne dans le cadre de la surveillance des travailleurs en cas d'exposition aux rayonnements. ISO 27048 (ISO: Genève) (2011)

Si la dose est inférieure au niveau d'enregistrement = 1 mSv/an

- ✓ i.e. résultat de mesure < NED
- ✓ pas de suivi plus poussé, pas de dose enregistrée

Niveau d'enregistrement dérivé (NED) = activité mesurable après une incorporation conduisant à une dose efficace engagée égale au niveau d'enregistrement (1 mSv)

$$M \leq NED = \frac{10^{-3} \cdot m(t)}{e} \Rightarrow \text{Dose} < 1 \text{ mSv}$$

M = activité mesurée dans le corps, les urines ou les selles au temps t après incorporation (Bq)

$m(t)$ = fraction retenue ou excrétée prédite par le modèle biocinétique au temps t après incorporation (Bq par Bq incorporé)

e = coefficient de dose (Sv/Bq)

✓ SFMT, 2011

R. 43 | Surveillance de routine : quelles valeurs des NED suite à inhalation ?
(Accord Professionnel)

TABLEAU N°4. SURVEILLANCE DE ROUTINE : QUELLES VALEURS DES NED SUITE À INHALATION.

A	B	C	D	E	F	G
RADIONUCLÉIDE	TYPE D'ABSORPTION	SUBSTRAT	LIMITE DE DÉTECTION	INTERVALLE DE SURVEILLANCE IS EN JOURS	DÉBUT DE L'IS	MILIEU DE L'IS
Émetteurs bêta					NED en Bq/L	
Tritium	Eau tritiée	Urines	50 Bq/L	30	1,5 E+04	3,7 E+04

PROCÉDURE D'ÉVALUATION DOSIMÉTRIQUE

Si la dose est supérieure à 1 mSv

- ✓ réaliser plusieurs mesures de plusieurs types
- ✓ évaluer la dose avec le scénario d'exposition par défaut :
 - date d'incorporation = milieu de l'intervalle
 - voie d'incorporation = inhalation
 - solubilité du composé = type d'absorption par défaut
 - taille de particule, DAMA = 5 μm

Si la dose est inférieure à 5 mSv et que les estimations à partir de plusieurs résultats de mesure sont cohérentes

- ✓ pas de suivi plus poussé
- ✓ enregistrement de la valeur de dose

Si la dose est supérieure à 5 mSv ou si les estimations à partir des différents résultats de mesure sont incohérentes

- ✓ établir un **scénario d'exposition spécifique** basé sur l'enquête au poste de travail et sur la tendance des mesures
- ✓ estimer la valeur de dose la plus vraisemblable
- ✓ continuer l'enquête et les mesures jusqu'à ce que la prévision du modèle biocinétique soit cohérente avec les résultats de mesure.

Facteur de dispersion (SF) : L'incertitude de mesure totale résultant de la statistique de comptage, de l'étalonnage, de la variabilité de biologique... est représentée par une distribution lognormale d'écart type géométrique SF.

analyse radiotoxicologique	valeur typique de SF	mesure anthroporadiométrique	valeur typique de SF
urines de 24 heures	1,1	photon de basse énergie E < 20 keV	2,3
urines normalisées à 24 h	1,6	photon d'énergie intermédiaire 20 < E < 100 keV	1,4
échantillon d'urine ponctuel	2	photon de haute énergie E > 100 keV	1,2
selles de 72 heures	2		
selles de 24 heures	3		

EVALUATION DE L'ACTIVITÉ INCORPORÉE

✓ à partir de plusieurs résultats de mesure

La cohérence entre la prévision du modèle et les résultats de mesure est évaluée par une fonction chi-deux (χ^2). Pour un scénario d'exposition donné, la valeur la plus vraisemblable est celle qui minimise le χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\ln(M_i) - \ln[I \times m(t_i)]}{\ln(SF_i)} \right)^2$$

$$\ln(I) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\ln(M_i / m(t_i))}{[\ln(SF_i)]^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{[\ln(SF_i)]^2}}$$

I = activité incorporée

M_i = activité mesurée au temps t_i après incorporation

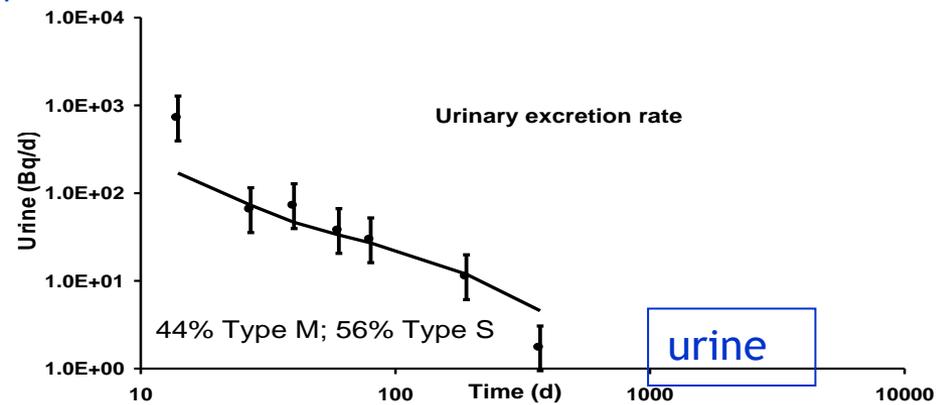
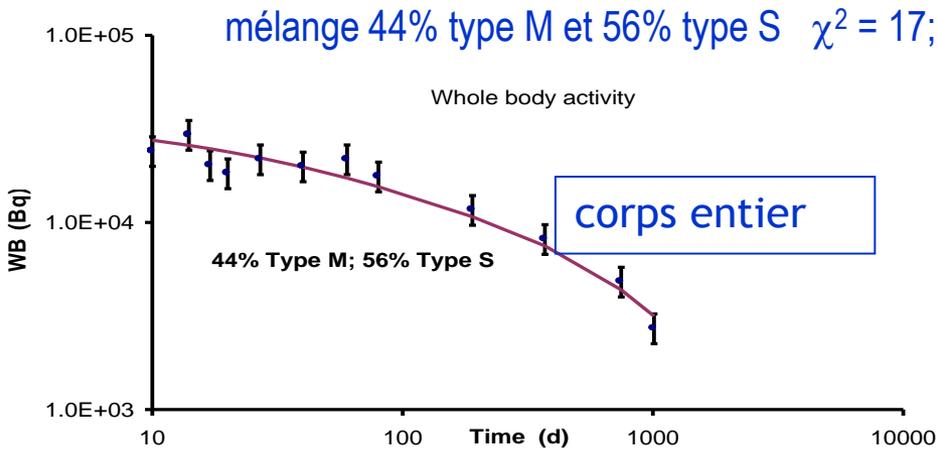
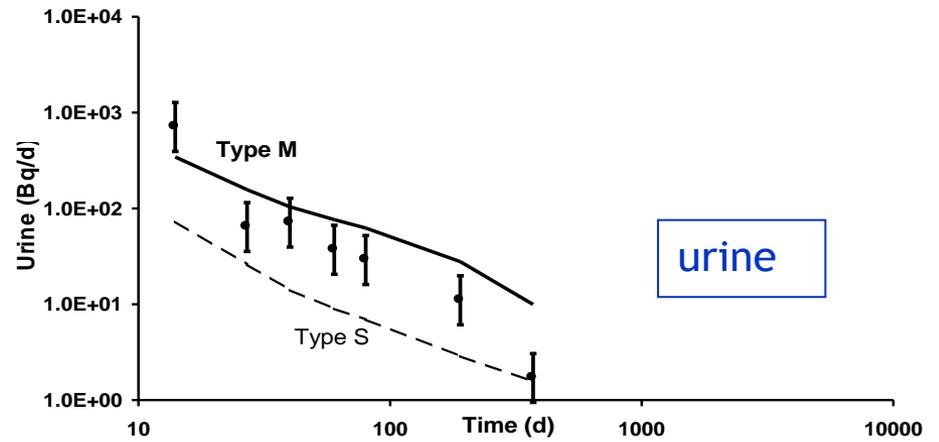
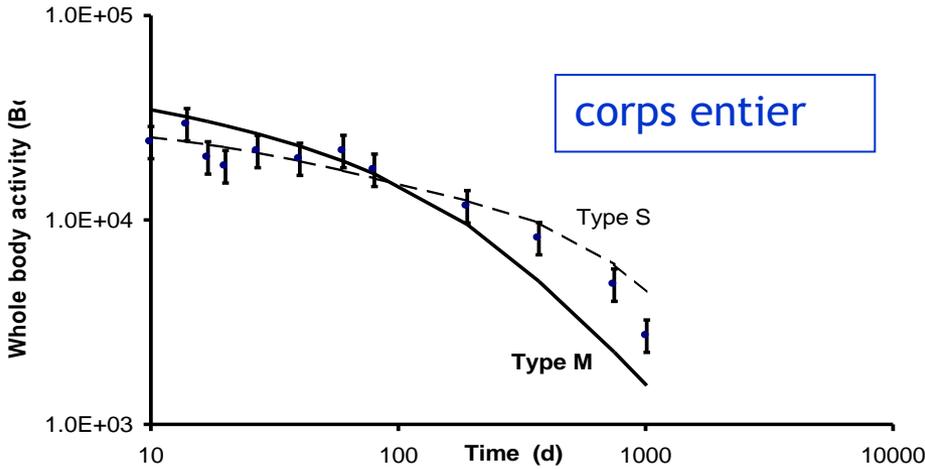
I x m(t_i) = prévision du modèle biocinétique pour la mesure M_i

SF_i = facteur de dispersion associé à M_i

Le modèle est incohérent avec les résultats de mesure si la probabilité p d'observer le χ^2 calculé est moins de 5%.

Si le SF de chaque mesure est constant alors la meilleure estimation de l'activité incorporée I est la moyenne géométrique des estimations ponctuelles I_i

Inhalation de Co-60 types d'absorption par défaut : — M ($\chi^2 = 72$, $p = 2,3 \cdot 10^{-6}$, $E = 3,4$ mSv)
 --- S ($\chi^2 = 57$, $p = 6,2 \cdot 10^{-6}$, $E = 6,4$ mSv)



LA COMMUNICATION



- La PCR
- L'employeur et l'exploitant
- L'ASN
- **Surtout le salarié**, et parfois un groupe de salarié, voire une entreprise
- Les représentants du personnel, CHSCT...

Avec des perceptions très variables selon les interlocuteurs mais aussi dans le temps... et une constante: **l'urgence à communiquer** alors que le processus d'estimation de la dose est souvent long: plusieurs semaines voire mois...

Conseils

1. Faire une liste de diffusion de l'information
2. Annoncer dès le départ les délais de rendu des résultats !

Être en capacité de donner une indication initiale du niveau de gravité :

- Au près de la PCR et de l'exploitant : déclaration ASN à partir de 5 mSv...
- Au près de l'employeur : exclusion de zone, questions CHSCT
- Au près du ou des salariés : explication des prescriptions en particulier du traitement et de la décision d'exclusion

Conseils

1. Présenter et expliquer les protocoles au près des différents acteurs à distance d'un contexte d'incident ! (formations, CHSCT, rencontre ASN, publications...)
2. Associer les représentants du personnel à l'élaboration des protocoles notamment en cas de situation à caractère collectif

Confronter les hypothèses retenues pour le calcul de dose avec les circonstances d'exposition :

- Date et voie d'incorporation
- Niveau de montée atmosphérique et de contamination externe
- Forme chimique (type de transférabilité)



Nécessite des échanges avec le salarié, l'exploitant, la PCR

Faire valider ses résultats par un pair et en cas de dose > 5 mSv ou d'incohérence forte entre les résultats mesurés et le modèle prédictif choisi, par un **expert**

Conseils

1. Développer ses compétences (participation à des GT, exercices d'intercomparaison, réseau d'expertise interne...)
2. Ne pas travailler seul : Les futures évolutions réglementaires (transposition de la Directive EURATOM 2013-59 du 05/12/2013) devraient rendre possibles, si le médecin le souhaite, le partage de la responsabilité du calcul de dose avec la personne chargée de conseiller l'employeur (PCR)
3. Limiter la diffusion des résultats d'analyses radiotoxicologiques (Bq)

3- TRANSMISSION DES RÉSULTATS ET DE L'ESTIMATION DE LA DOSE

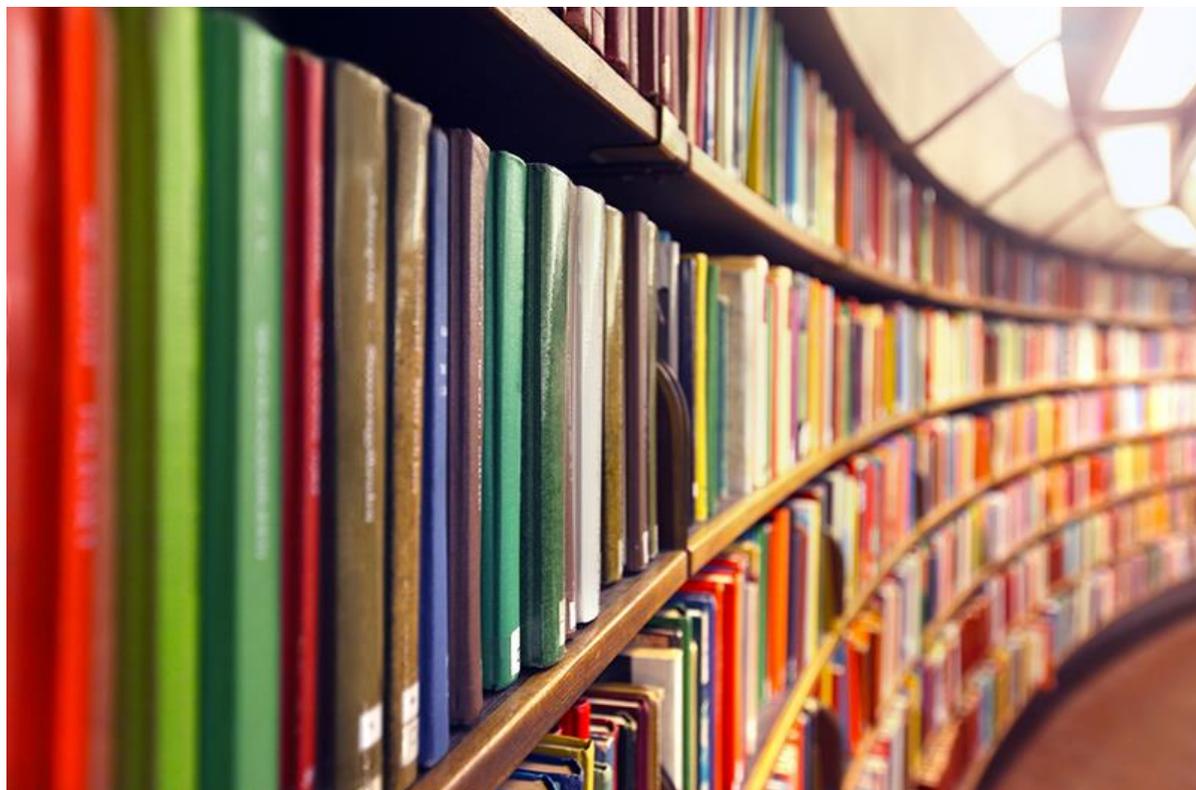
Il est indispensable de pouvoir expliciter les concepts dosimétriques :

- Limite de détection et niveau d'enregistrement (NE)
- Conditions d'interprétation d'un examen (critères de conformité)
- Dose efficace
- Dose engagée
- Limites réglementaires et seuils de risque

Conseils

1. Rester à la disposition des salariés à chaque étape du processus
2. Adresser un courrier officiel de conclusion au salarié suite à chaque prise en charge d'un événement d'exposition interne
3. Conserver une fiche de traçabilité de son estimation dans le dossier du salarié : hypothèses retenues – examens pris en compte pour le calcul de dose – modèle utilisé – éventuellement logiciel utilisé

RÉFÉRENCES



- ✓ Marsh JW, Blanchardon E, Castellani C-M, Desai AD, Dorrian MD, Hurtgen C, Koukoulidou V, Lopez MA, Luciani A, Puncher M, Andrasi A, Bailey MR, Berkovski V, Birchall A, Bonchug Y, Doerfel H, Malátová I, Molokanov A, Ratia H. Evaluation of scattering factor values for internal dose assessment following the IDEAS guidelines: preliminary results. *Radiat. Prot. Dosimetry* 127, 339-42 (2007)
- ✓ National Council On Radiation Protection And Measurements, Development of a Biokinetic Model for Radionuclide-Contaminated Wounds and Procedures for their Assessment, Dosimetry and Treatment. NCRP Report No. 156, NCRP, Bethesda (2006).
- ✓ Société Française de Médecine du Travail (SFMT). Good practice recommendations. Medical Monitoring of occupational internal exposure to radionuclides in nuclear installations (2011)
http://www.chu9231rouen.fr/sfmt/autres/Internal_exposure_nuclear_instal_medical_monitoring_nov_2012.pdf.
- ✓ International Atomic Energy Agency Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides, Safety Series No. 37. IAEA, Vienna. (2004) http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1190/Pub1190_web.pdf
- ✓ International Commission On Radiological Protection. The ICRP database of dose coefficients : workers and members of the public, CD-ROM version 2.01, Elsevier (1998) <http://www.icrp.org/page.asp?id=145>

- ✓ Doerfel H, Andrasi A, Bailey MR, Berkovski V, Blanchardon E, Castellani C-M, Hurtgen C, LeGuen B, Malatova I, Marsh J, Stather J. General guidelines for the estimation of committed effective dose from incorporation monitoring data. Report FZKA 7243 (FZK: Karlsruhe) (2006) <http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7243.pdf>
- ✓ Etherington G, Cossonnet C, Franck D, Genicot JL, Hurtgen C, Jourdain J-R, Le Guen B, Rahola T, Sovijärvi J, Stradling GN, Ansoborlo E and Bérard P. Optimisation of Monitoring for Internal Exposure (OMINEX). Final Report to the European Commission on the OMINEX Project, NRPB-W60 (NRPB: Chilton) (2004)
- ✓ EURADOS. CM Castellani, JW Marsh, C Hurtgen, E Blanchardon, P Bérard, A Giussani, MA Lopez. IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data. EURADOS Report 2013-01 ISBN 978-3-943701-03-6 (2013)
<http://www.eurados.org/~media/Files/Eurados/documents/EURADOS%20Report%202013-01%20online%20version.pdf?la=en>
- ✓ European Commission Council Directive 96/29/EURATOM of 13 May 1996.
http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/9629_en.pdf
- ✓ International Organization for Standardization. Radiation Protection — Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure ISO 27048:2011 (ISO: Geneva) (2011)
- ✓ Ishigure N, Nakano T, Enomoto H, Matsumoto M. MONDAL3 (National Institute of Radiological Sciences, Japan). <http://www.nirs.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3.php>

- ✓ International Commission On Radiological Protection. Report on the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23. Pergamon Press, Oxford (1975)
- ✓ International Commission on Radiological Protection Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30, Part 1. Ann. ICRP 2 (3-4) (1979)
- ✓ International Commission On Radiological Protection, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2, Ingestion Dose Coefficients, ICRP Publication 67, Annals of the ICRP 23(3/4) (1993)
- ✓ International Commission On Radiological Protection, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66, Annals of the ICRP 24(1-3) (1994)
- ✓ International Commission on Radiological Protection. Dose coefficients for intake of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24 (4) (1994)
- ✓ International Commission On Radiological Protection, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers: Replacement of ICRP Publication 54, ICRP Publication 78, Annals of the ICRP 27(3-4), Pergamon Press, Oxford (1997)
- ✓ International Commission on Radiological Protection. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection. Reference Values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3-4) (2002)
- ✓ International Commission on Radiological Protection. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41 (Suppl.)(2012). [http://www.icrp.org/page.asp?id=ICRP Publication 119](http://www.icrp.org/page.asp?id=ICRP%20Publication%20119)
- ✓ International Commission On Radiological Protection. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1, ICRP Publication 130, Annals of the ICRP 44(2) (2015)

MERCI