



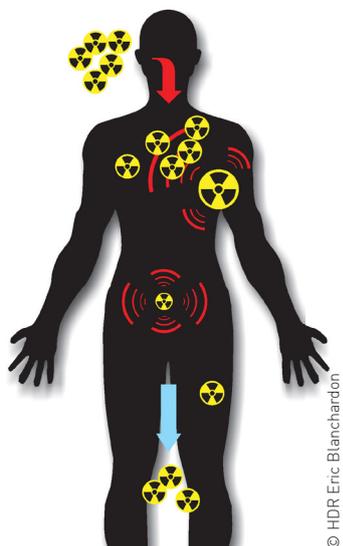
FICHES TECHNIQUES

CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

— FÉVRIER 2023 —

Cette fiche technique anticipe le remplacement de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 relatif aux modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants par l'arrêté mentionné à l'article R.1333-24 du code de la santé publique. Tant que l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 n'est pas abrogé, les valeurs des doses efficaces engagées par unité d'incorporation à utiliser sont celles de cet arrêté de 2003.

FICHES TECHNIQUES DE LA

CONTAMINATION INTERNE :
COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

© HDR Eric Blanchardon



© Olivier Seignette/Mikael Lafontan/Médiathèque IRSN

Contrairement aux situations d'irradiation externe, le calcul de dose après contamination interne professionnelle par des radionucléides nécessite de multiples étapes, et implique l'utilisation de modèles biocinétiquesⁱ et dosimétriquesⁱⁱ. Par ailleurs, le caractère chronique de l'irradiation due à une contamination interne a conduit à définir le concept spécifique de dose engagée.

Suite à un incident de contamination interne, la dose efficace engagée sur 50 ansⁱⁱⁱ (E , exprimée en sievert, Sv) doit être réglementairement estimée pour vérifier le respect des limites de dose pour les travailleurs [Article R.4451-6 du Code du Travail]. Pour estimer la dose efficace engagée, deux types d'information complémentaires doivent être disponibles :

- 1 -** Les conditions d'exposition : radionucléide(s) impliqué(s) (élément et isotope) ainsi que sa forme physico-chimique, notamment ses propriétés de solubilité et, en cas d'inhalation, sa granulométrie.
- 2 -** Une/des mesure(s) d'activité : mesure d'ambiance sur le lieu de l'événement, ou de l'activité présente au site de contamination (poumons, blessure), ou de la mesure des excréta (urines, fèces).

ⁱ *Modèle biocinétique* : modèle mathématique représentant le comportement d'un radionucléide dans le corps de son entrée à son élimination. Les modèles des voies d'entrée décrivent le passage du radionucléide de l'environnement vers le sang ou le retour à l'environnement. Ils ne sont pas spécifiques de l'élément chimique à part ses propriétés d'absorption. Les modèles systémiques, spécifiques à chaque élément chimique, représentent la répartition du composé à partir du sang vers des sites de rétention. Ces derniers sont indépendants de la forme chimique initiale du composé.

ⁱⁱ *Modèle dosimétrique* : modèle physique définissant la forme, le volume, la localisation et la masse des tissus et organes du corps pour estimer la dose absorbée dans un tissu cible à partir d'une activité déposée dans un tissu source.

ⁱⁱⁱ *La dose efficace E est une grandeur de radioprotection se rapportant au risque global pour un individu de référence. Elle est calculée, comme étant la somme des doses équivalentes, chacune étant pondérée par le facteur de radiosensibilité tissulaire w_T correspondant :*

$$E = \sum_T w_T H_T$$

La valeur de chaque w_T est déduite des études épidémiologiques et biologiques.

La dose engagée se définit comme étant la somme des doses équivalentes ou efficaces reçues pendant 50 ans après l'incorporation de radioactivité par un adulte ou jusqu'à l'âge de 70 ans pour un enfant. Elle s'exprime en sievert (Sv).

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

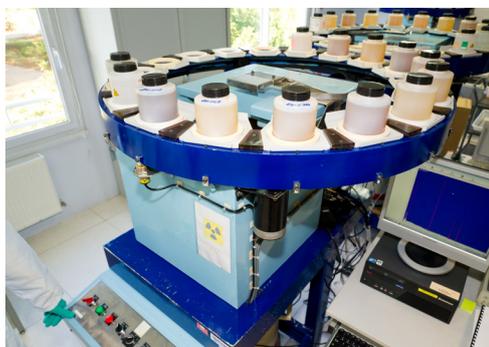
CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

A partir de ces informations, le/les modèles biocinétiques les plus représentatifs des conditions d'exposition peuvent être choisis et l'activité incorporée au moment de la contamination peut être estimée à partir des mesures d'activité.

1 - LES MESURES D'ACTIVITÉS

La dose efficace engagée peut être déterminée soit à partir de **mesures d'ambiance** surveillant la contamination volumique d'une pièce, uniquement en cas d'inhalation, soit à partir de **mesures individuelles** pour estimer directement la contamination interne d'un travailleur.

Deux types de mesures peuvent être mis en place pour évaluer l'activité incorporée. La mesure radiotoxicologique ou *in vitro* est la mesure de l'**activité excrétée** dans les urines ou les selles pendant une période d'échantillonnage, habituellement une journée. Elle s'exprime en becquerel par jour ($\text{Bq}\cdot\text{j}^{-1}$). Elle est particulièrement adaptée pour mesurer la contamination par des émetteurs alpha et bêta du fait de la faible pénétration de ces rayonnements dans les tissus.



© Eric Thibaud/Médiathèque IRSN

L'anthroporadiométrie est la **mesure in vivo** par spectrométrie des rayonnements X ou gamma émis par les radionucléides présents dans l'ensemble du corps ou dans un organe en particulier. L'activité retenue mesurée est exprimée en becquerel (Bq). Les rayonnements alpha et bêta ne sont pas détectables par cette mesure.



© Philippe Dureuil/Médiathèque IRSN

2 - LES MODÈLES UTILISÉS

Pour estimer la dose efficace engagée, exprimée en sievert, il est nécessaire de connaître la dose absorbée^{iv}, exprimée en gray (Gy), par chaque organe. En dosimétrie interne, la dose absorbée dans un organe donné dépend :

- Ⓙ du nombre de transformations nucléaires au sein de chacun des organes du corps, et
- Ⓙ des énergies absorbées dans cet organe donné, que la désintégration ait lieu dans cet organe d'intérêt ou dans un autre tissu.

Ces deux quantités sont évaluées à partir des modèles biocinétiquesⁱ et dosimétriquesⁱⁱ.

^{iv} La dose absorbée $D_{T,R}$ est la quantité d'énergie cédée au tissu T par le rayonnement R et s'exprime en gray (Gy), avec $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$.

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

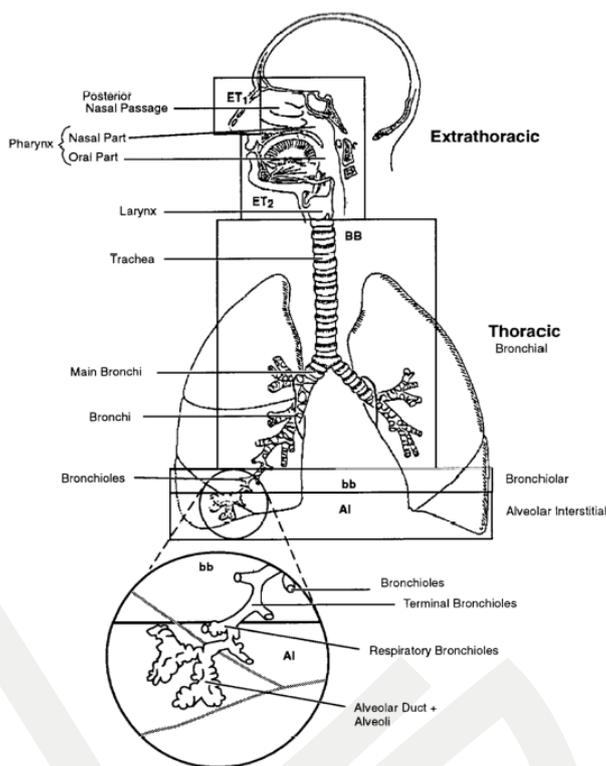
CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

2.1 - Les modèles biocinétiques

Des modèles biocinétiques ont été développés par la Commission Internationale pour la Protection Radiologique (CIPR) pour prédire le comportement du radionucléide dans le corps humain depuis son entrée jusqu'à son excrétion. Ces modèles prennent en compte les spécificités (forme physico-chimique notamment) d'un radionucléide et la voie d'entrée dans l'organisme.

Le modèle du tractus respiratoire humain (en anglais, Human Respiratory Tract Model, HRTM) [ICRP, 2015] représente le système respiratoire, et prédit :

- le dépôt d'un aérosol de particules dans les voies respiratoires paramétré par son diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) ;
- l'épuration pulmonaire du radionucléide soit par transport muco-ciliaire^v soit par absorption vers le sang. La CIPR propose trois types d'absorption par défaut : les composés de Type F (pour Fast) sont des composés solubles qui sont rapidement absorbés par le sang, les composés de Type S (pour Slow) sont des composés très peu solubles qui atteignent lentement le sang ; le Type M (pour Moderate) est défini pour des composés au comportement intermédiaire.



Les différentes régions du système respiratoire définies dans le modèle respiratoire humain de la CIPR [ICRP, 2015]

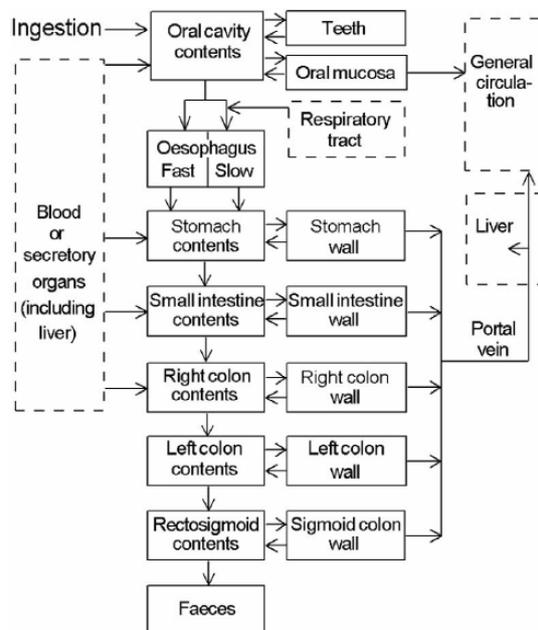
^v Transport muco-ciliaire : transport du mucus des voies respiratoires vers le carrefour aéro-digestif d'où il est dégluti

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRFP

Société Française de Radioprotection

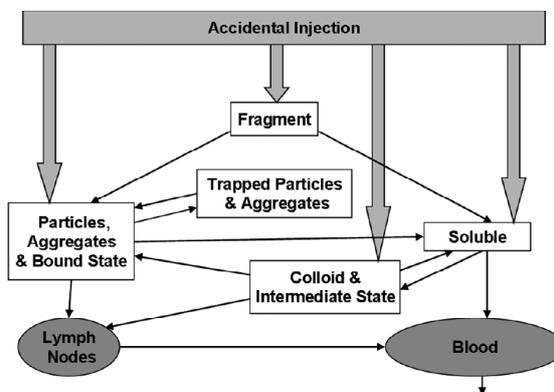
CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

Le modèle du tractus alimentaire humain (en anglais, Human Alimentary Tract Model, HATM) [ICRP, 2006] représente le système des voies digestives humaines. La fraction de l'activité dans le système gastro-intestinal absorbée vers le sang est la fraction f_A qui varie, par exemple, entre 1 pour les composés de l'iode et 10^{-5} pour les oxydes de plutonium.



Structure du modèle du tractus alimentaire humain (HATM). Les compartiments en pointillé permettent de mettre en évidence les connexions entre ce modèle et le modèle du tractus respiratoire ainsi qu'avec les modèles systémiques [ICRP, 2006]

Le modèle biocinétique développé par le National Council on Radiation Protection and Measurements [NCRP, 2006] représente le comportement d'un radionucléide suite à une contamination par plaie. Du site de contamination, le composé radioactif peut migrer vers les nœuds lymphatiques ou le sang en fonction de sa forme physico-chimique. La rétention du composé au site de contamination dépend de sa forme physique (particules, fragments, colloïde) et de ses propriétés d'hydrolyse pour les solubles (rétention faible, modérée, forte ou avide).



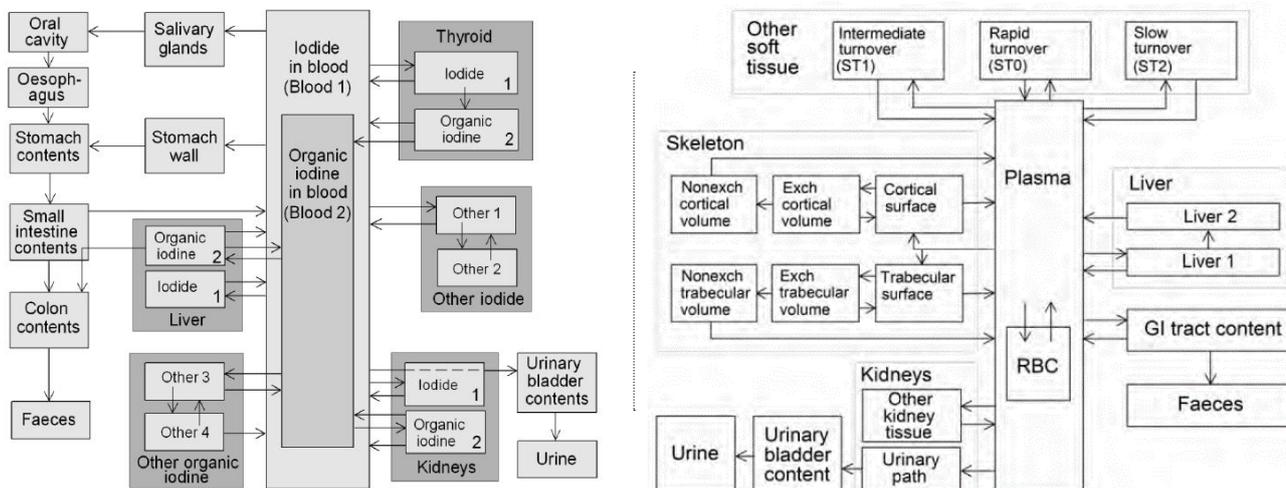
Structure du modèle biocinétique pour la plaie [NCRP, 2006]

Le comportement du radionucléide depuis son passage dans le sang jusqu'à son excrétion est modélisé par les modèles systémiques. La CIPR a défini des modèles spécifiques de chaque radionucléide, comme, par exemple, pour l'iode [ICRP, 2017], l'uranium [ICRP, 2017], et le plutonium [ICRP, 2019].

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?



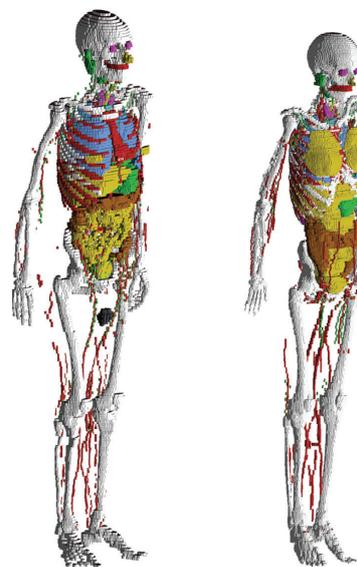
Structure du modèle systémique de l'iode (à gauche) et de l'uranium (à droite) [ICRP, 2017]

2.2 - Les modèles dosimétriques

Les modèles dosimétriques sont utilisés pour calculer les doses absorbées par les différents tissus cibles à partir des activités retenues dans les tissus sources, prédites par les modèles biocinétiques. Pour cela, une représentation 3D de l'anatomie du corps humain est nécessaire [ICRP, 2006, 2009, 2015]. Les doses absorbées sont ensuite pondérées pour calculer les doses équivalentes^{vi} et la dose efficace engagée correspondante.

Ces modèles sont définis pour l'homme et la femme de référence et, en pratique, sont utilisés comme tels pour l'estimation de la dose efficace engagée.

Modèles dosimétriques de référence pour l'homme (à gauche) et la femme (à droite) adultes. La peau, les muscles et les tissus adipeux ne sont pas représentés sur cette figure [ICRP, 2020]



3 - LES GRANDEURS D'INTÉRÊT

Pour estimer une dose efficace engagéeⁱⁱⁱ suite à une contamination interne, deux types de grandeurs sont utilisées :

Ⓐ la dose efficace engagée par unité d'incorporation ou le coefficient de dose^{vii}, en Sv.Bq⁻¹,

^{vi} La dose équivalente pour un organe ou un tissu, H_T , prend en compte l'efficacité biologique relative des différents types de rayonnement par l'intermédiaire d'un facteur de pondération w_R , dont la valeur est recommandée par la CIPR. Elle se calcule, en sievert (Sv), par la formule :

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

^{vii} Dose efficace engagée par unité d'incorporation ou coefficient de dose [e_{50}]: dose efficace engagée sur 50 ans correspondant à une activité incorporée égale à 1 Bq, exprimée en Sv.Bq⁻¹. Les valeurs des coefficients de dose dépendent de la nature des radionucléides, de leur forme physico-chimique et de la voie de contamination.

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

Il les fractions d'activité excrétée ou retenue dans les organes en fonction du temps après la contamination, $m(t)$.

Ces grandeurs sont calculées par la CIPR grâce aux modèles biocinétiques et dosimétriques. Dans la pratique, des valeurs précalculées de ces grandeurs sont ainsi utilisées. La CIPR fournit ces valeurs dans l'OIR DataView (disponible sur le site de la CIPR en suivant le lien ci-dessous: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20151>).

Le choix de la dose efficace engagée par unité d'incorporation et des fractions d'activités dépendent de la voie de contamination (inhalation, ingestion, blessure), du radionucléide impliqué, de sa forme physico-chimique (taille des particules pour un aérosol, solubilité) mais également, pour la fraction, du type de mesure et du délai entre la contamination et la mesure.

4 - DÉTERMINATION DE L'ACTIVITÉ INCORPORÉE

4.1 - À partir de mesures d'ambiance

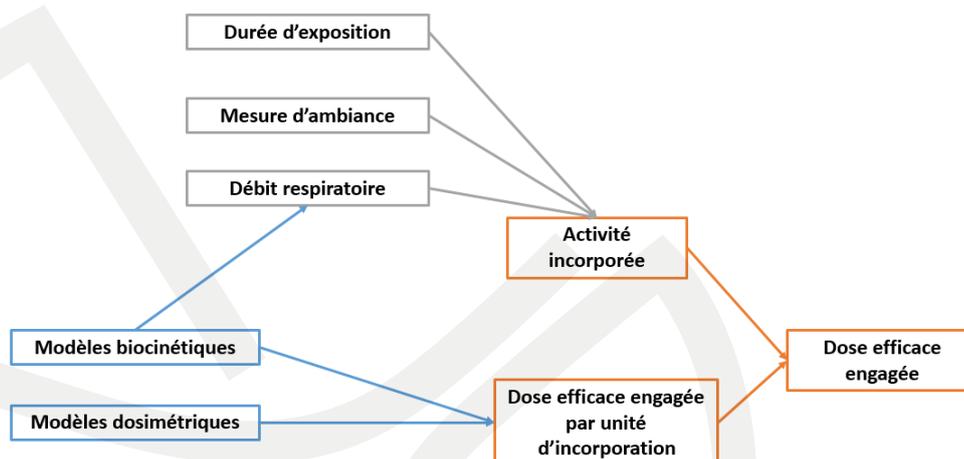
En cas d'inhalation, l'activité incorporée A_i est estimée à partir d'une activité volumique en $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, A_{vol} , par la relation suivante :

$$A_i = A_{\text{vol}} \times D_{\text{resp}} \times t_{\text{exposition}}$$

avec D_{resp} le débit respiratoire en $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ et $t_{\text{exposition}}$ la durée d'exposition en heures. Par défaut, le débit respiratoire pour le travailleur est égal à $1,2 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ [ICRP, 2015].

Ces mesures d'ambiance peuvent permettre d'alerter en cas d'augmentation soudaine de l'activité volumique. Elles peuvent également aider au choix des équipements de protection et de la surveillance de l'exposition interne à mettre en place pour les travailleurs intervenant dans le local.

Dans le cadre d'un incident de contamination, l'estimation de l'activité incorporée à partir des mesures d'ambiance permet d'évaluer l'ampleur de la contamination mais ne permet pas une estimation aussi précise que celle réalisée à partir de mesures individuelles.



Principe du calcul de la dose à partir d'une mesure d'ambiance

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRFP

Société Française de Radioprotection

CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

4.2 - À partir de mesures individuelles

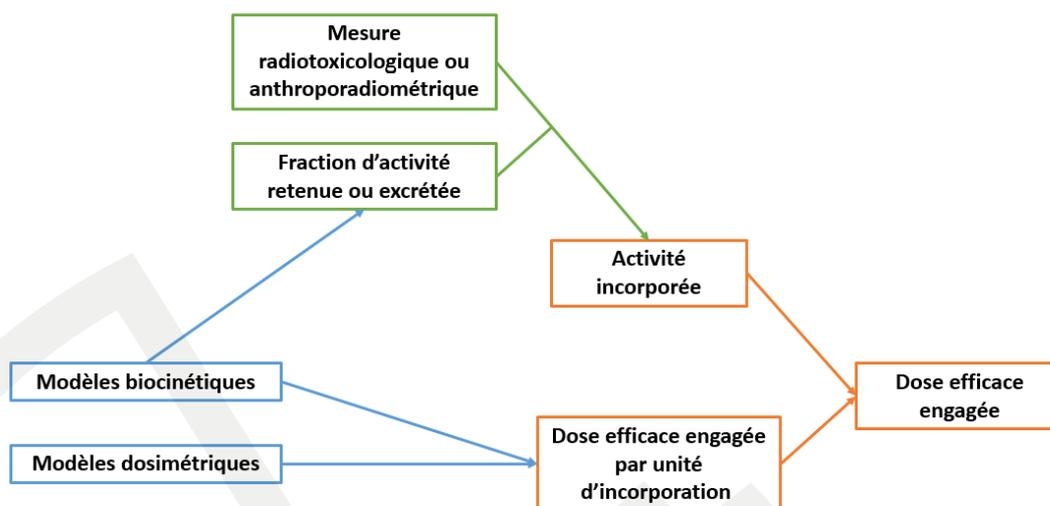
Si un résultat de mesure individuelle est disponible, l'activité incorporée A_i est estimée en divisant la valeur d'activité mesurée A_{mes} t jours après la contamination par la fraction d'activité retenue ou excrétée à la date t , $m(t)$:

$$A_i = \frac{A_{mes}(t)}{m(t)}$$

Afin de valider l'estimation de l'activité incorporée réalisée, cette dernière peut être comparée avec les activités manipulées par exemple, ou d'autres sources d'information.

Si plusieurs résultats sont disponibles, l'activité incorporée est estimée par une technique par maximum de vraisemblance qui consiste à rechercher par itération l'activité incorporée la mieux en accord avec les résultats de mesure [Castellani et al, 2013]. Si la date de contamination ou les propriétés physico-chimiques du contaminant ne sont pas connues, cette méthode permet de tester différents scénarios de contamination et de choisir celui représentant au mieux les données recueillies.

La fraction $m(t)$ est l'activité retenue ou excrétée à la date t suivant la contamination en supposant une activité incorporée égale à 1 Bq. Elle s'exprime en Bq.(Bq incorporé)⁻¹ pour une mesure d'activité retenue ou en Bq.j⁻¹.(Bq incorporé)⁻¹ pour une activité excrétée. Si le délai entre la mesure et la contamination est inconnu, une hypothèse par défaut doit être proposée. Pour les travailleurs surveillés en routine par des mesures individuelles périodiques, le délai par défaut est le milieu de l'intervalle entre deux mesures.



Principe du calcul de la dose à partir d'une mesure radiotoxicologique ou anthroporadiométrique

FICHES TECHNIQUES DE LA



CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

5 - CALCUL DE LA DOSE EFFICACE ENGAGÉE

L'estimation de la dose efficace engagée E est réalisée en multipliant la dose efficace engagée par unité d'incorporation notée e_{50} , par l'activité incorporée A_i :

$$E = A_i \times e_{50}$$

Par défaut, une contamination par inhalation sera supposée pour un travailleur si aucune information n'indique une autre voie de contamination. En l'absence de forme physico-chimique déterminée, la CIPR indique pour chaque élément un type de solubilité à choisir par défaut. Pour la plupart des composés, le Type M est recommandé en cas d'absence d'information.

L'arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants publie des valeurs du coefficient e_{50} à utiliser dans un grand nombre de situations.

6 - EXEMPLES DE CALCULS POUR DES SITUATIONS RÉALISTES

Les exemples ci-dessous sont fictifs et ont été développés uniquement à des fins d'application des concepts présentés précédemment.

6.1 - Contamination suite à l'inhalation d'iode-131

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.

Afin d'estimer la dose efficace engagée correspondant à cette contamination les paramètres suivant ont été utilisés :

- ⌘ 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.

D'après la publication 137 de la CIPR (OIR part 3) :

- ⌘ la dose efficace engagée par unité d'incorporation, e_{50} est égale à $1,7 \cdot 10^{-8}$ Sv.Bq⁻¹ et
- ⌘ la fraction d'activité retenue à la thyroïde 3 jours après la contamination, $m(3)$, est égale à $2,3 \cdot 10^{-1}$ Bq.(Bq incorporé)⁻¹

L'activité incorporée en iode-131 peut être calculée :

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

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

La dose efficace engagée est égale à :

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

6.2 - Contamination à l'uranium découverte suite à un examen radiotoxicologique

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.

Afin d'estimer la dose efficace engagée correspondant à cette contamination, différents paramètres doivent être connus ou supposés :

- Ⓛ 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

A partir de ces informations, en consultant l'OIR DataViewer ou la publication 137 de la CIPR, il peut être déterminé que :

Ⓛ la dose efficace engagée par unité d'incorporation, e_{50} , suite à une inhalation d'un composé de Type F avec un DAMA de 5 μm est égale à :

- Pour l'U-234 : $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$;
- Pour l'U-235 : $2,3 \cdot 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$;
- Pour l'U-238 : $2,2 \cdot 10^{-7} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$;

Ⓛ la fraction d'activité excrétée dans les urines 90 jours après la contamination, $m_{urine}(90)$, est égale à $5,9 \cdot 10^{-5} \text{ Bq} \cdot \text{j}^{-1} \cdot (\text{Bq incorporé})^{-1}$ pour tous les isotopes de l'uranium (mêmes modèles biocinétiques et période physique très supérieure à 50 ans).

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

$$\begin{aligned} \text{Ⓛ } A_{i,U-234} &= \frac{A_{urine,U-234}(90)}{m(90)} = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{5,9 \cdot 10^{-5}} = 254 \text{ Bq}, \\ \text{Ⓛ } A_{i,U-238} &= \frac{A_{urine,U-238}(90)}{m(90)} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{5,9 \cdot 10^{-5}} = 305 \text{ Bq}. \end{aligned}$$

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

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

$$\llcorner A_{i,U-235} = A_{i,U-238} \times \frac{\%_{U-235}}{\%_{U-238}} = 305 \times \frac{2,26}{49,03} = 14 \text{ Bq}$$

ou

$$\llcorner A_{i,U-235} = A_{i,U-234} \times \frac{\%_{U-235}}{\%_{U-234}} = 254 \times \frac{2,26}{48,72} = 12 \text{ Bq}$$

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

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

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

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

Soit une dose efficace engagée totale de :

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

6.3 - Piquêre avec un outil contaminé à l'américium

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 :

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

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

Afin d'estimer la dose efficace engagée correspondante à cette contamination les paramètres suivant ont été utilisés :

- ⌌ 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.

D'après la publication 141 de la CIPR (OIR part 4, ICRP 2019) :

⌌ la dose efficace engagée par unité d'incorporation, e_{50} est égale à $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ et

⌌ la fraction d'activité excrétée dans les urines 7 jours après la contamination, $m(7)$, est égale à $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Bq} \cdot \text{j}^{-1} \cdot (\text{Bq incorporé})^{-1}$

⌌ la fraction d'activité excrétée dans les urines 10 jours après la contamination, $m(10)$, est égale à $9,0 \cdot 10^{-4} \text{ Bq} \cdot \text{j}^{-1} \cdot (\text{Bq incorporé})^{-1}$

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

Société Française de Radioprotection

CONTAMINATION INTERNE : COMMENT ESTIMER LA DOSE EN PRATIQUE ?

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 :

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

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

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

Dans cette situation avec plusieurs mesures ayant la même incertitude, l'activité incorporée calculée en utilisant une moyenne géométrique est exactement la même que celle qui serait obtenue en appliquant une méthode de maximum de vraisemblance.

Ainsi, la dose efficace engagée est égale à :

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

7 - RÉFÉRENCES

Castellani CM, Marsh JW, Hurtgen C, et al. [2013] IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data. EURADOS Report 2013-01. Braunschweig: EURADOS. Disponible en suivant le lien: https://eurados.sckcen.be/sites/eurados/files/uploads/Publications/24_EURADOS-Report-2013-01_online-version.pdf

Code du travail [2018] Article R4451-6, Partie réglementaire, Quatrième partie : Santé et sécurité au travail, Livre IV : Prévention de certains risques d'exposition, Titre V : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements, Chapitre 1^{er} : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants, Section 1 : Principes et dispositions d'application, Sous-section 1 : Valeurs limites d'exposition. Version en vigueur depuis le 01 juillet 2018 disponible sur : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000037024991?isSuggest=true

ICRP [2006] Human alimentary tract model for radiological protection. ICRP Publication 100. Annals of the ICRP 36(1-2).

ICRP [2009] Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Annals of the ICRP 39(2).

ICRP [2015] Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130. Annals of the ICRP 44(2).

ICRP [2017] Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Annals of the ICRP 46(3/4).

ICRP [2019] Occupational Intakes of Radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Annals of the ICRP 48(2/3).

ICRP [2020] Adult mesh-type reference computational phantoms. ICRP Publication 145. Annals of the ICRP 49(3).

NCRP [2006] Development of a Biokinetic Model for Radionuclide-Contaminated Wounds and Procedures for Their Assessment, Dosimetry and Treatment. NCRP Report No. 156. Bethesda: National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP).

Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul de doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. JORF n°262 du 13 novembre 2003 p. 19236.