

Calcul de la dose efficace engagée, quelles limites ? Cas de l'uranium dans le contexte de l'actualité réglementaire 2023

ATSR 2024

MENU Xavier



orano

PLAN

La dose efficace engagée

Fondements, modalités de calcul

Actualisation réglementaire sur les modalités de calcul

Modèles OIR - CIPR

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

Limites d'applicabilité ?

Evaluation du risque sanitaire individuel – évolution de l'outils dans le temps – applicabilité des modèles – paramètres connus ou estimés

Arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès au système d'information et de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants «SISERI» et modifiant l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants

Calcul de la dose efficace engagée

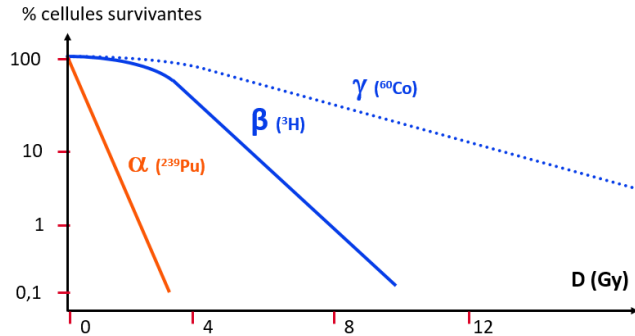
Fondements : la Dose efficace

- Outils de gestion des risques aléatoires à long terme (stochastiques)
- le « Sievert »,
 - unité développée dans les années 70 (ICRP26, 1977), puis mis à jour dans sa version moderne dans la *Publication 60 de la CIPR* (ICRP60, 1991b), puis en 2007 (ICRP103, 2007)
- **Outils de radioprotection dans l'application des principes d'optimisation et de limitation**
 - CIPR 103 : “*evaluation prospective des doses*” ... “*respect des limites de dose*”
- **Outils de comparaison des expositions**
 - Partant d'une grandeur physique (Gray ou Joule/kg)
 - Pondération du rayonnement (w_r) et des tissus (w_t)
 - Pour un individu de « référence » (« moyenné »)

Calcul de la dose efficace engagée

Fondements : la Dose efficace

- Pondération du rayonnement
 - Facteur de pondération w_r (CIPR 103, 2007)
 - Dose équivalente H_T
 - Notion d'efficacité Biologique relative des différents rayonnements : EBR



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

- Pondération des tissus (w_T)
 - Dose efficace : E
 - Notion de « détriment » (ICRP26, 1977)

Basé sur une analyse épidémiologique :

- Risque nominal cancers et effets héréditaires
- Ajusté sur la fraction de létalité, la perte de qualité de vie et de durée de vie relative restante.

$$D = [(R \times k) + R \times (1-k) \times q] \times l$$



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

F: femme
H: homme

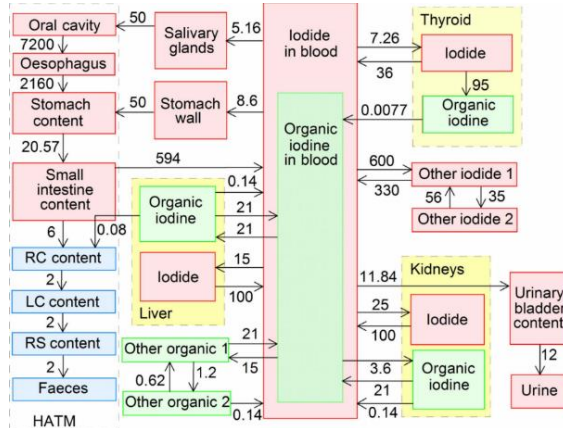
Calcul de la dose efficace engagée

Fondements : La Dose efficace engagée

- Déclinaison de la dose efficace pour l'évaluation des incorporations de radionucléides
 - Permet de mesurer une dose efficace, engagée sur 50 ans après incorporation pour un professionnel et 70 ans pour un enfant ou un nouveau né
 - Attribuée réglementairement au mois de l'incident
- Basée sur des modèles dosimétriques et biocinétiques

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

Modèles Biocinétiques



Modèles Dosimétriques



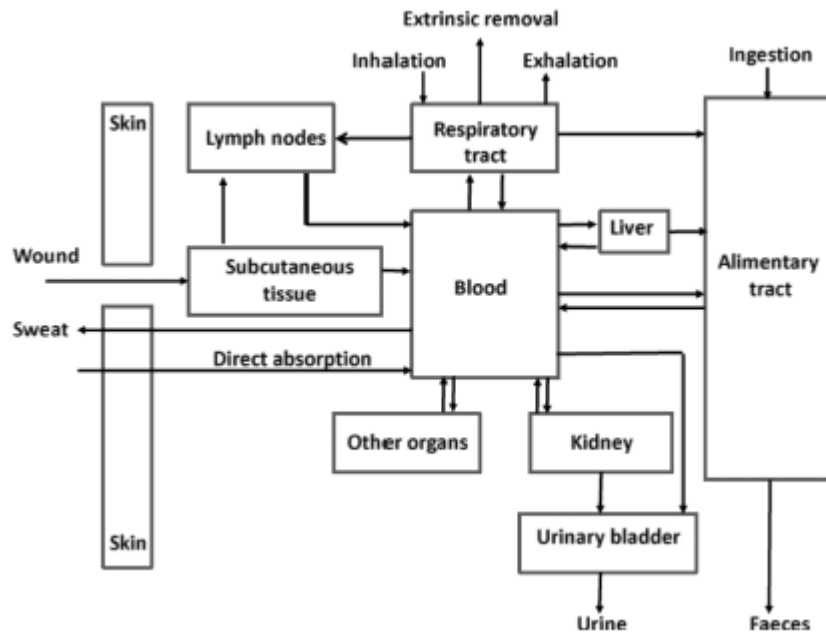
Calcul de la dose efficace engagée

Fondements : Modèles Biocinétiques

- Modèles permettant de prédire la distribution du ou des radionucléide(s) dans un corps humain de référence par unité de temps mais également
 - L'absorption (modèles : inhalation, plaies ou ingestion)
 - La rétention dans les différents organes
 - L'excrétion urinaire et fécale

Paramètres d'entrée :

- La voie d'entrée
- Le radionucléide
- La forme physico-chimique



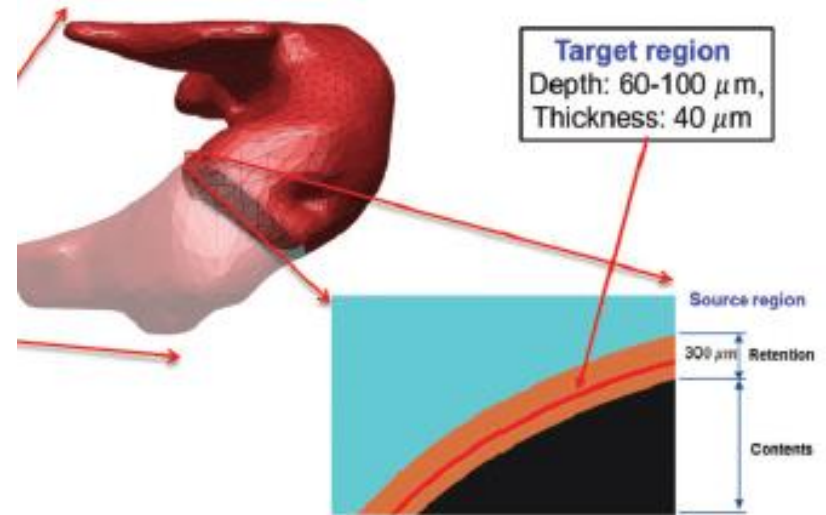
Calcul de la dose efficace engagée

Fondements : Modèles Dosimétriques

- Estime la dose absorbée par les différents tissus cibles (T) à partir des activités retenues dans les tissus sources (S) (prédites par les modèles biocinétiques)

$$D_T = \sum_S D_{(T \leftarrow S)}$$

$$D_{(T \leftarrow S)} = \tilde{A}_S \times S_{(T \leftarrow S)}$$



D_T : Dose moyenne absorbée par le tissu cible T

\tilde{A}_S : Activité cumulée en Bq.s dans la source S

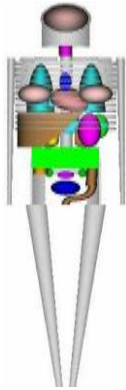
$S_{(T \leftarrow S)}$ Dose absorbée par T par unité d'activité cumulée présente dans S.

Dépend du type et de l'énergie du rayonnement émis, de la masse du tissu cible (T) et de la géométrie du modèle anatomique considéré

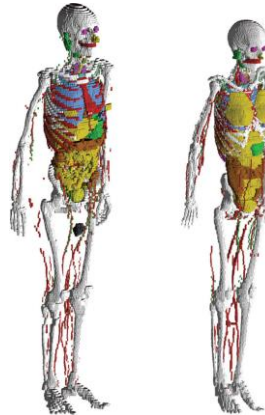
Calcul de la dose efficace engagée

Fondements : Modèles Dosimétriques

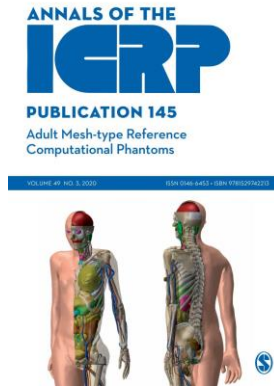
- *Modèle Dosimétrique*
 - *Modèle 3D d'un « être humain de référence »*



Fantômes mathématiques
MIRD (CIPR 89, 2002)



fantômes adultes voxelisés de
référence
CIPR 110, 2009



Adult Mesh-type Reference
Computational Phantoms
2020

Calcul de la dose efficace engagée

Modèles Biocinétique et Dosimétrique → Etablissent des coefficient de dose efficace engagée

$$E_{50} = I \times e_{50}$$

- e_{50} : dose efficace engagée sur 50 ans en Sievert par Becquerel incorporé
- Ou DPUI ou h(g)
- Noté Sv/Bq
- Dépend du modèle considéré :

→ radionucléide, de sa forme physico-chimique, de sa granulométrie (pour l'inhalation)

→ individu de référence considéré

- **Abaques**

Table 1.5.8. Committed effective dose coefficients (Sv Bq⁻¹) for the inhalation or ingestion of ²³⁴U, ²³⁵U, and ²³⁸U compounds.

Inhaled particulate materials (5-µm AMAD aerosols)	Effective dose coefficients (Sv Bq ⁻¹)		
	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁸ U
Intermediate Type F/M; uranyl nitrate UO ₂ (NO ₃) ₂ ; uranium peroxide hydrate UO ₂ · ammonium diuranate; uranium trioxide UO ₃	4.1E-07	3.8E-07	3.6E-07
Intermediate Type M/S; uranium octoxide U ₃ O ₈ ; uranium dioxide UO ₂	5.5E-06	5.1E-06	4.8E-06
Uranium aluminate U ₂ Al ₂ O ₇	3.0E-06	2.8E-06	2.6E-06
Type F; uranium hexafluoride, UF ₆ ; uranyl tri- butyl-phosphate	2.5E-07	2.3E-07	2.2E-07
Type M; uranyl acetate; depleted uranium aerosols from use of kinetic energy penetrators; vaporised uranium metal; all unspecified forms	1.4E-06	1.3E-06	1.2E-06
Type S	1.3E-05	1.2E-05	1.2E-05
Ingested materials			
Soluble forms (Type F)	3.5E-08	3.2E-08	3.1E-08
Relatively insoluble forms (as assigned to Types M and S for inhalation)	3.5E-09	3.3E-09	3.1E-09

AMAD, activity median aerodynamic diameter.

→ **Objectif : détermination de l'activité incorporée I**

Calcul de la dose efficace engagée

Modalités de calcul de la dose efficace engagée

→ Détermination de l'activité incorporée I

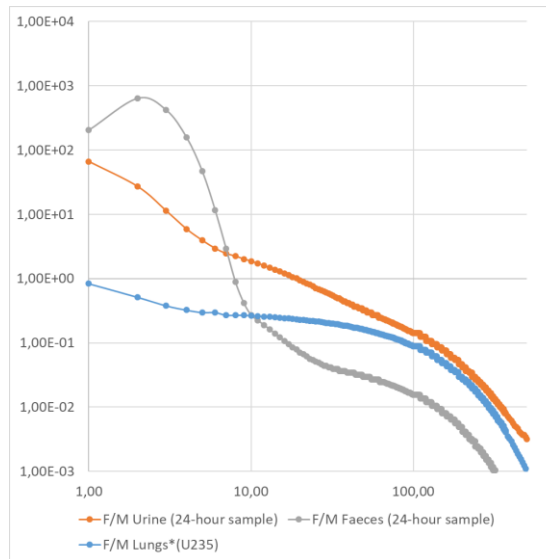
- Soit par mesure de l'activité atmosphérique ambiante

$$I = A_{vol} \times \text{Débit respiratoire} \times t_{exposition}$$

- Soit par une mesure anthroporadiométrique ou sur excrétât(s) / Uniquement rétrospectif

$$I = M / m(t)$$

- Sur incident ou suite à prélèvement
- Suivi de routine



Excrétion urinaire et fécale,
Rétention pulmonaire
Suite inhalation unique.
Activité en Bq
Uretraitement Total ,
F/M, 5 μ m

pour 1mSv incorporé

Calcul de la dose efficace engagée

Un exemple... simple

- *Considérant une inhalation unique de 100 Bq d'Uranium 238 solubilité M*
- *Les modèles de la CIPR 137 prédisent une excrétion urinaire de 1,1Bq par 24h à J1.*
- *Vous mesurez 2,2Bq/24h à J1, votre activité incorporé sera de ..*

$$\dots I = 2,2/1,1*100 = 200 \text{ Bq}$$

$$\dots E_{50} = 200\text{Bq} * e_{50} (1,2 \mu\text{Sv/Bq}) \\ = 240\mu\text{Sv de dose efficace engagée 50 ans } (E_{50})$$

Calcul de la dose efficace engagée

Un exemple... un peu moins simple

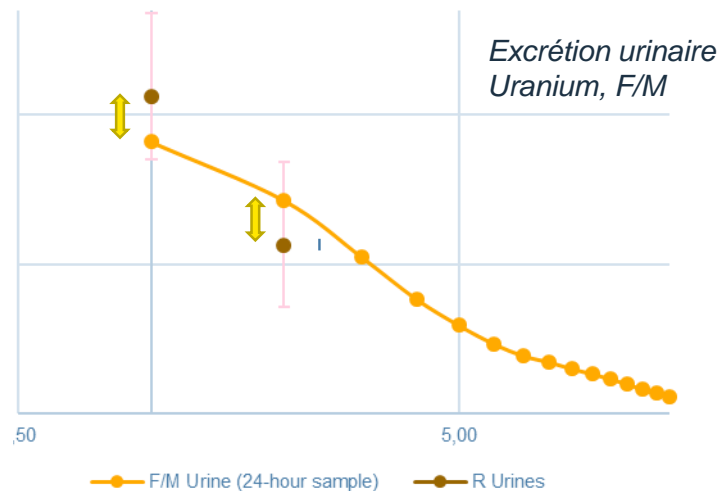
- Considérant une inhalation unique d' UO_4 (F/M, AMAD $5\mu m$) d'isotope de retraitement
- Vous mesurez une excrétion urinaire à J1 : $27Bq^{238}U$, $21Bq^{236}U + ^{235}U$, $82Bq^{234}U$ et $2Bq^{232}U$
- Vous mesurez à J2 : $2,7Bq^{238}U$, $2Bq^{236}U + ^{235}U$, $8Bq^{234}U$ et $0,2Bq^{232}U$

→ 1 - Moyenner les incorporation de chaque isotopes (guide IDEAS 2004/2013)

$$\ln(I) = \frac{\sum_{i=1}^{n_u} \frac{\ln(I_i)}{(\ln(SF_u))^2} + \sum_{j=1}^{n_f} \frac{\ln(I_j)}{(\ln(SF_f))^2}}{\sum_{i=1}^{n_u} \frac{1}{(\ln(SF_u))^2} + \sum_{j=1}^{n_f} \frac{1}{(\ln(SF_f))^2}}$$

→ 2 - Tester le modèle pour chaque isotope

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



Actualisation des modèles

Dernières mises à jour des différents modèles de la CIPR

- 1994 : mise à jour du modèle respiratoire humain
- 2006 : mise à jour du modèle alimentaire humain
- 2007 : ICPR 103 : mise à jour des facteurs w_r , w_t
- 2002 - 2009 : ICRP 89 - 110 mise à jour des modèles dosimétriques

- **2012 : IRCP 130 (1ere partie de la série OIR) :**
 - mise à jour des anciennes séries professionnelles (30 et séries et des ICRP 68, 78) (70'-90')
- **2015 – 2022 : OIR part 2 to 5 : CIPR 134, 137, 141 et 151**

OIR séries (Occupational Intakes of Radionuclides)

- Révise les coefficient de dose professionnels pour l'inhalation et l'ingestion
- Révise les fonction d'excrétion et de rétention
- Révise les solubilité chimique à priori de plusieurs radionucléides.

Actualisation des modèles dans la réglementation française

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

NOR : ENEP2327278A

Publics concernés : tout public.

Objet : modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

Entrée en vigueur : le texte entre en vigueur le 1^{er} janvier 2024.

- Remplace l'arrêté du 01/09/2003
- Modalité de calcul des différentes grandeurs physiques et de radioprotection prenant en compte les dernières valeurs des CIPR
- Mise à jour des coefficients de dose pour le public et jeunes travailleurs / CIPR 119
- Mise à jour des solubilités par défaut et coefficients de dose pour les travailleurs / OIR series, CIPR 130-134-137-141-151
- Prise en compte des nouveaux coefficients Radon

Actualisation des modèles dans la réglementation française

exemple de l'Uranium *Uranium publication 69 et 71 → 137 (2018)*

U-238...	F	La plupart des composés hexavalents, par exemple UF_6 , UO_2 , F_2 et $UO_2(NO_3)_2$	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$
	M	Composés moins solubles, par exemple UO_3 , UF_4 , UCl_4 et la plupart des autres composés hexavalents.	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
	S	Composés très insolubles, par exemple UO_3 et U_3O_8	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$

U-238

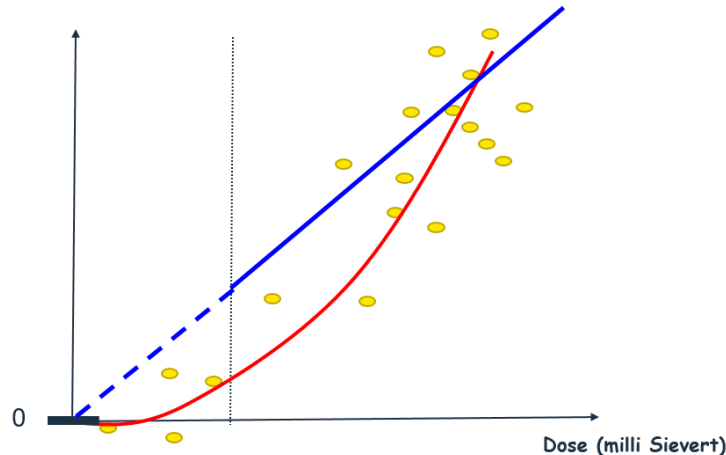
		h(g) (Sv.Bq ⁻¹)	
		5 μm	1 μm
A. F	Hexafluorure d'uranium, tributyl-phosphate d'uranyle	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-7}$
A. M	Uranyl acetylaceto-nate, uranium appauvri utilisé dans les pénétrateurs à énergie cinétique, uranium métallique vaporisé, autres composés et composés non spécifiés	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$
A. S	Pas de forme chimique particulière assignée	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
A. Spé. N°1	Nitrate d'uranyle, hydrate de peroxyde d'uranium, diuranate d'ammonium, trioxyde d'uranium	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$
A. Spé. N°2	Dioxyde et octoxyde	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$
A. Spé. N°3	Aluminiure d'uranium	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$

Limites de la dose efficace engagée

1 - Quelle valeur au plan du risque sanitaire individuel ?

- **La dose efficace pour estimer un risque individuel ?**

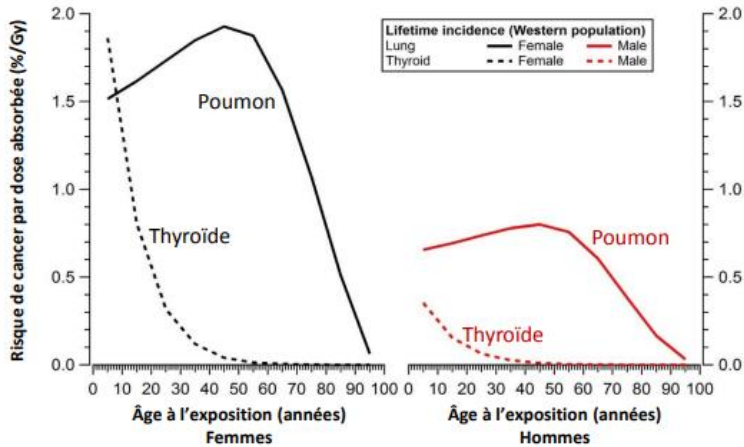
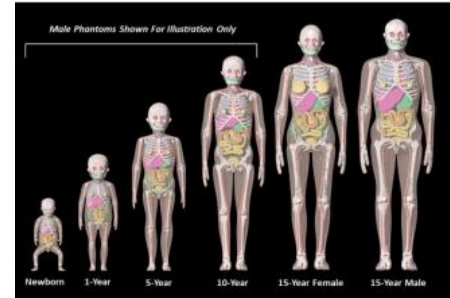
- CIPR 103 (2007) : « La dose efficace n'est pas recommandée pour effectuer des évaluations épidémiologiques, et ne doit pas non plus être utilisée pour des investigations rétrospectives spécifiques détaillées concernant l'exposition et le risque d'un individu. »
- CIPR 147 (2021) « En gardant à l'esprit les incertitudes associées à la projection du risque aux faibles doses et faibles débits de dose, la CIPR considère que la dose efficace peut être considérée comme un **indicateur approximatif** du risque possible, tout en reconnaissant que les risques vie entière de cancer varient avec l'âge à l'exposition, le sexe et le groupe de population. »



Limites de la dose efficace engagée

1 - Quelle valeur au plan du risque sanitaire individuel ?

- La dose efficace pour estimer un risque individuel ?



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

*F: femme
H: homme*



Limites de la dose efficace engagée

1 - Quelle valeur au plan du risque sanitaire individuel ?

- **Radiosensibilité et radiosusceptibilité**

Syndromes	Mutated Genes	Major Defective Mechanism	Prevalence per 100,000	SF2 (%)	Cancer Predisposition	Aging Neurodegeneration	Immuno-Deficiency	Subcellular Localization of the Protein
Ataxia telangiectasia	Homoz <i>ATM</i> mutations	DSB signaling and repair	~1	1-5	Leukemia, Lymphoma	No	Yes	Nucleus Cytoplasm
Ligase IV syndrome	Homoz <i>LIG4</i> mutations	NHEJ	Few cases	2-6	Leukemia, Lymphoma	No	Yes	Nucleus
Nijmegen's syndrome	Homoz <i>NBS1</i> mutations	DSB signaling and repair	~1	5-9	Leukemia, Lymphoma	No	Yes	Nucleus
Hutchinson-Gilford Progeria syndrome	Heteroz* <i>LMNA</i> mutations	Nuclear membrane	0.12-0.25	8-19	No	Yes	No?	Inner nuclear membrane
Huntington's disease	Heteroz (gain-of-function) <i>HTT</i> mutations	DNA methylation	4-7	19	No	Yes	No	Nucleus Cytoplasm
Duchesne's dystrophy	X-linked <i>DMD</i> mutations		1-9	16-28	No	Yes	No	Cytoplasm
Fanconi Anemia	Homoz or heteroz X-linked <i>FANC</i> (<i>A to D</i>) mutations		1	15-40	Leukemia, squamous cell carcinoma Breast cancer	No	Yes	Nucleus only, except for FANCD both nucleus and cytoplasm

Human Radiosensitivity and Radiosusceptibility: What Are the Differences? 2021, Laura El-Nachef et al.

Limites de la dose efficace engagée

2 - Evolution des fondements qui composent la dose efficace engagée

- *Les modalités de calcul du Détriment, les modèles biocinétiques et dosimétriques ont évolués sur les 20 dernières années*

E50 en mSv pour 1000Bq incorporé	CIPR antérieures	publications OIR	différentiel relatif (OIR/anciens modèles)
Inhalation UO4 / Uret	7,09E-01	4,09E-01	-42%
Inhalation U3O8 / Uapp	5,92E+00	4,91E+00	-17%
Inhalation UF4 / U _{nat}	1,89E+00	1,34E+00	-29%
Ingestion UO3 / Uret	8,73E-03	3,62E-03	-59%
Plaie(weak) UF6 / Uenr3,5% _m	2,25E+00	1,69E+00	-25%
Inhalation Co60 (M non spécifié)	7,14E-03	6,21E-03	-13%
Inhalation Am241 (M non spécifié)	2,72E+01	7,98E+00	-71%
Inhalation I131 (gaz non spécifié)	1,98E-02	1,66E-02	-16%

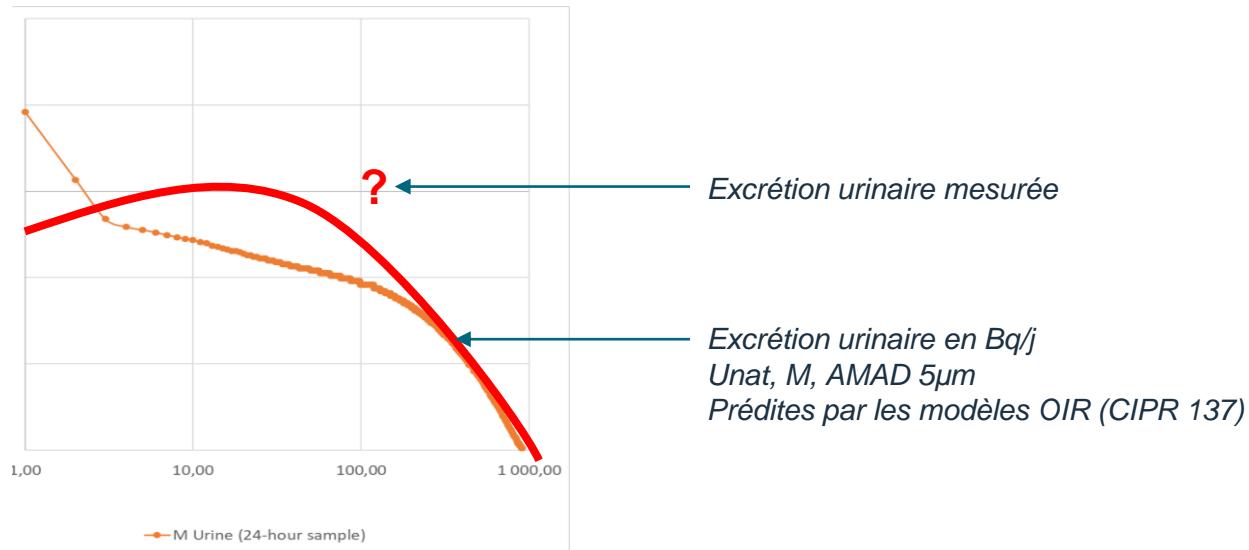
Inhalation: AMAD =5 μ m

- ➔ **Peut avoir un impact concret sur nos pratiques**
- ➔ **Attention comparaison sur temps long**

Limites de la dose efficace engagée

3 - Limite d'applicabilité des modèles de référence

- **Modèles dosimétriques : variabilité des biométries individuelles**
- **Modèles biocinétiques : incertitudes des données sources (nombre qualité des études, extrapolations animales...), limites biologiques non prédites par un modèle mathématique (effets de seuil ???), Impact de co-exposant ou radionucléide avec de forte toxicité chimique (néphrotoxique notamment), variations individuelles**
 - Lu S, Zhao F. 1990. Nephrotoxic limit and annual limit on intake for natural U. Health Phys 58(5):619-623.
 - 1 travailleur de 23 ans exposé de grande concentration d' UF_4 pendant 5 min dans une pièce fermée
 - L'excrétion urinaire a augmentée pendant les 60 premiers jours, pour revenir à des niveaux d'excrétion naturelle à J1065.



Limites de la dose efficace engagée

4 - Limite d'applicabilité *liées aux paramètres retenus : donnés ou estimés !*

- *Voie d'incorporation +++++*
- *Date d'incorporation +++++*
- *Forme chimique ou modèle de solubilité estimé +++*
- *Nombre de points de mesure*
- *Mélange de radionucléides*

→ *Données en général bien connue sur des incidents identifiés*

Limites de la dose efficace engagée

4 - Limite d'applicabilité *liées aux paramètres retenus : donnés ou estimés !* **Cas des contaminations internes sans incident identifié**

- Complément d'examen, interprétation selon antériorités et éventuellement bruit de fond
- Enquête terrain
- Puis hypothèse(s) d'incorporation (Aigue ou chronique, mode d'incorporation, Rn(s), forme chimique, AMAD)
 - Cohérence de ou des hypothèse(s) ?
 - Entre les résultats d'analyse et selon la date d'incorporation choisie χ^2
 Méthodologie préconisée (IDEAS, 2004/2013)
 - Aux données du poste de travail
 (Act. incorporée, forme chimique compatible,
 +- cohérence entre victimes)
 - Date : En cas de date non identifiée : principe de l'inhalation au milieu de l'intervalle (ISO 20553, 2006, CIPR 78/130, IDEAS 2013)
 - RBP (HAS, 2011) :
 - la date d'incorporation retenue sera la date la plus plausible,
 - si aucune information ne permet de conclure, la date retenue sera celle du milieu de l'intervalle en cohérence avec les recommandations internationales.

Limites de la dose efficace engagée

4 - Limite d'applicabilité *liées aux paramètres retenus : donnés ou estimés !* Calcul de dose et hypothèse

- Considérant une excrétion urinaire d'U appauvri de 5mBq sur 24h le 01/08/2024, résultat reçu le 01/09/2024,
- Contrôle ATP urines et selles négatifs au 02/09/2024
- Installation avec des formes F ou M/S,
- Aucun aléa rapporté (pas d'évènement, pas de plaie, ras prélèvement collègues...)

→ Hypothèses Inhalation :

Urine 24h +jours depuis incorporation	Inhalation, Dose en mSv	
	F	M/S
1	9,92E-06	1,84E-02
7	4,96E-04	3,29E-01
15	9,36E-04	4,85E-01
30	2,48E-03	6,58E-01
45	4,68E-03	7,37E-01
60	7,66E-03	8,01E-01
90	1,43E-02	8,77E-01
180	5,62E-02	1,08E+00

- Dernier Prélèvements datent du 01/02/2024 (+ 6mois)
 - Milieu de l'intervalle à +90 jours
 - ➔ Hypothèses F : 14 μ Sv / 64 Bq incorporé le 01/05/2024
 - ➔ Hypothèse M/S : 877 μ Sv / 179 Bq incorporé le 01/05/2024

Limites de la dose efficace engagée

4 - Limite d'applicabilité *liées aux paramètres retenus : donnés ou estimés !* Calcul de dose et hypothèse

- Considérant une excrétion urinaire d'U appauvri de 5mBq sur 24h le 01/08/2024, résultat reçu le 01/09/2024,
- Contrôle ATP urines et selles négatifs au 02/09/2024
- Installation avec des formes F ou M/S,
- Aucun aléa rapporté (pas d'évènement, pas de plaie, ras prélèvement collègues...)

→ Hypothèses Inhalation :

Urine 24h	Inhalation, Dose en mSv	
+jours depuis incorporation	F	M/S
1	9,92E-06	1,84E-02
7	4,96E-04	3,29E-01
15	9,36E-04	4,85E-01
30	2,48E-03	6,58E-01
45	4,68E-03	7,37E-01
60	7,66E-03	8,01E-01
90	1,43E-02	8,77E-01
180	5,62E-02	1,08E+00

- Dernier Prélèvements datent du 01/02/2024 (+ 6mois)
 - Milieu de l'intervalle à +90 jours
 - Hypothèses F : 14 μ Sv / 64 Bq incorporé le 01/05/2024
 - Hypothèse M/S : 877 μ Sv / 179 Bq incorporé le 01/05/2024
 - Mais
 - Optimiste : $< 1\mu$ Sv / < 5 Bq incorporé le 15/07/2024
 - Pessimiste : > 1 mSv / 221 Bq incorporé le 01/02/2024
 - 64 ou 178 Bq incorporé sans aléa compatible avec le poste de travail ?
 - Ingestion, plaie ?
 - Contamination manuportée prélèvement ?
(5mBq d'uranium appauvri $< 1\mu$ g)

Limites de la dose efficace engagée

Arrêté du 23 juin 2023

- **Art. 23.** – *Le médecin du travail, qui prescrit des mesures d'anthroporadiométrie ou des analyses radiotoxicologiques pour un travailleur exposé, évalue la dose interne »... « dès lors que les résultats des mesures de l'activité incorporée donnent des valeurs au moins supérieures aux limites de détection des organismes accrédités. la dose efficace engagée ou la dose équivalente engagée ainsi calculée. Le médecin du travail enregistre dans SISERI*

- **Arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants**
 - *Le médecin du travail détermine la dose efficace engagée ou la dose équivalente engagée » ... « dès lorsque les résultats des mesures de l'activité incorporée **sont non nuls. Les résultats des mesures sont conservés dans le dossier médical du travailleur.***
- **Arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants**
 - *Le médecin du travail communique à SISERI la dose efficace engagée ou la dose équivalente engagée calculée dès lors qu'il la juge significative et, dans tous les cas, lorsqu'elle est égale ou supérieure à 1 mSv.*

Limites de la dose efficace engagée

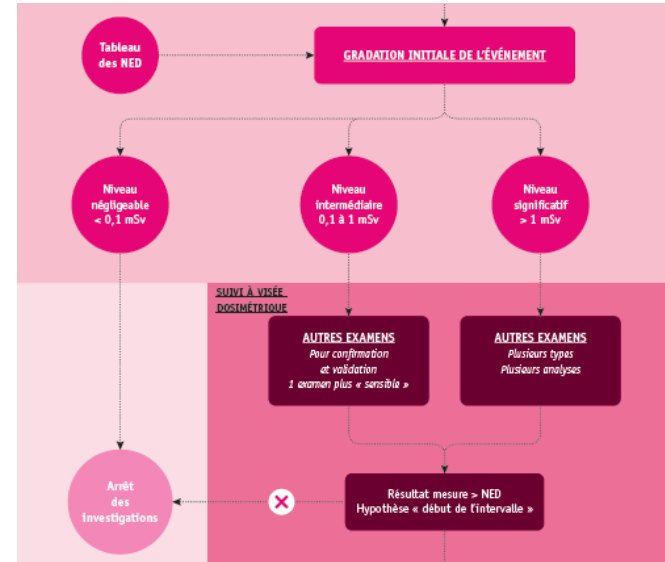
Recommandations de bonnes pratiques en matières de calcul de dose

SURVEILLANCE DU POSTE DE TRAVAIL	VALEUR INDICATIVE DU RISQUE RÉSIDUEL D'AMBIANCE	PROTOCOLE DE SURVEILLANCE
<p>La protection collective assure une protection efficace et complète (vase clos) contre le risque d'incorporation :</p> <ul style="list-style-type: none"> – mesures de radioprotection atmosphérique et surfacique adaptées constamment en dessous des limites de détection, – absence d'évènements radiologiques. 	<p>NÉGLIGEABLE < 0,1 mSv</p>	<p>Pas de surveillance de routine.</p> <p>Surveillance de contrôle épisodique pour vérifier l'absence d'incorporation supérieure à 1 mSv.</p>

2.2.1 Level 0 (committed effective dose less than 0.1 mSv/a)

Potential intakes that could result in an annual dose less than 0.1 mSv. No evaluation of dose is needed. This would be most likely even if there should be similar intakes in each monitoring interval of the year. At this level there is generally no need to evaluate the measured values explicitly, and the effective dose can be set to zero in analogy to the rounding of doses in external dosimetry. However, the measured value should be recorded with respect to further assessments in the future.

A measured quantity M (retention or daily excretion measurement) can be allocated to Level 0 if it is below a given value defined as "critical monitoring quantity" M_c . Details about M_c are given in paragraph 3.3 Determination of M_c values.



HAS, 2011, *Surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en Installations Nucléaires de Base*,
 EURADOS, 2013, *IDEAS Guidelines for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data*,

Conclusions

Une actualité réglementaire dimensionnant en 2023

La dose efficace : un outils de radioprotection initialement dimensionné pour appliquer les principes d'optimisation et de limitation, dont l'utilisation hors de ce spectre doit rester prudente

La dose efficace engagée : une notion complexe avec un certain nombre de limites d'application et d'interprétation qu'il convient de considérer

- *ICRP, 2007, ICRP 103 Recommandations Générales*
- *ICRP, 2012 – 2022, ICRP OIR (Occupational Intakes of Radionuclides) series : 130, 134, 137, 141 et 151*
- *ICRP, 2020, ICRP 145, Adult Mesh-type Reference Computational Phantoms*
- *HAS, 2011, Surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en Installations Nucléaires de Base,*
- *EURADOS, 2013, IDEAS Guidelines for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data,*
- *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*
- *Arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès au système d'information et de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants «SISERI» et modifiant l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants*