



Guide pratique pour le calcul
de la dose interne
*en cas de contamination par des
émetteurs gamma dans le cadre d'un
programme de surveillance spéciale*

*Congrès National de la SFRP
Juin 2023*

*Docteur Thomas EHRET
Médecin du travail
EDF CNPE de Cattenom*





ÊTRE UN ACTEUR DE L'ÉTHIQUE DU GROUPE

Protéger le patrimoine du groupe

Chaque salarié s'engage à traiter de façon responsable les informations qu'il détient dans le cadre de son travail et respecter les règles de sécurité et de confidentialité, en particulier concernant les données sensibles.



Les bons reflexes

- Rester **discret** et vigilant dans les lieux publics
- Pour les documents sensibles, utiliser des **moyens de protection** adaptés (Stormshield Data Security)



Cette réunion aborde des sujets internes



Cette réunion aborde des sujets restreints dont la divulgation peut être préjudiciable à EDF : chacun s'engage à n'en communiquer les supports et à n'en relater les échanges qu'avec discernement et en mentionnant explicitement « à ne pas rediffuser / à ne pas divulguer »

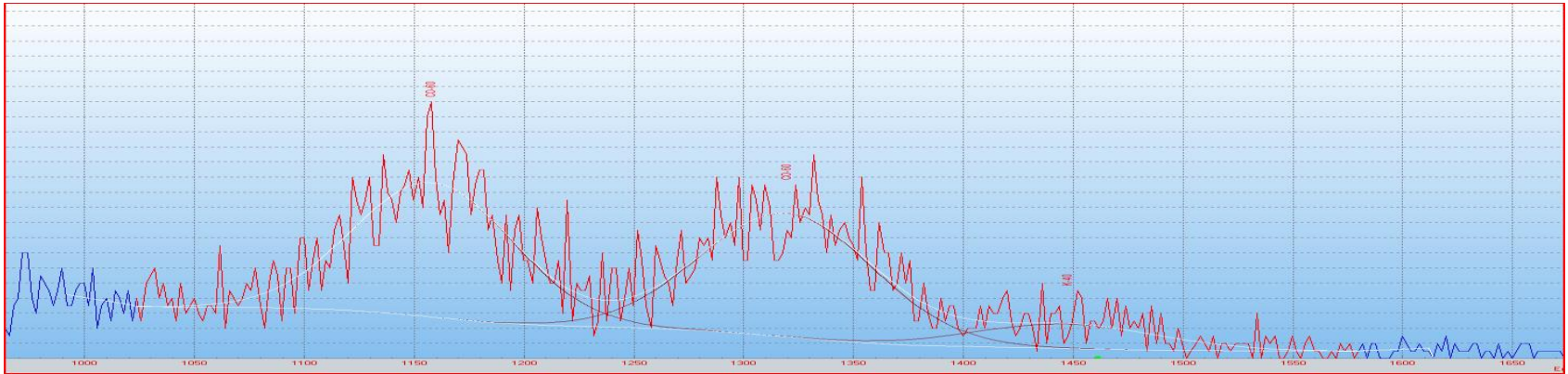


Cette réunion aborde des sujets de nature confidentielle, chacun s'engage à tenir secrètes les informations tant écrites qu'orales qui y sont exposées.
Chaque dépositaire de cette présentation s'interdit de la communiquer à quelque tiers que ce soit sans l'accord du président de séance

Guide pratique pour le calcul de la dose interne

en cas de contamination par des émetteurs gamma dans le cadre d'un programme de surveillance spéciale

(GT EDF 2021, Pilotes: I. Le-Couteulx et B. Landry)



CADORMed | Dossiers: Special monitoring Cobalt 60 | Mesures

IDEAS | RBP | Données analysées: ATP Urines Selles Organe | Date de l'incorporation: 2 novembre 2016 | Surveillance spéciale

Mode d'incorporation: Injection Ingestion Inhalation | Forme chimique: Aerosols Type S, Cobalt oxide, FAP, PSL, fA=1E-3 | DTMA / DAMA: 1 µm

Qualité de l'ajustement: **L'ajustement n'est pas rejeté par le test du χ^2** | Synthèse IDEAS + RBP: Graph.

Paramètres de calcul

Radionucléide: Co-60 | Type: S | fA: 1.0E-03 | Mode d'incorporation: Inhalation | DAMA: 1 µm | DPUT: 5.90E-08

Activité incorporée (Bq) *Maximum de vraisemblance*: **4,23E+03**

Dose efficace engagée (mSv): **0,25**

Activity in organism or excretas (Bq) vs Days after intake

- Activité ATP
- Activité Urines
- Activité Selles
- Activité Organe
- Activités mesurées
- Valeurs Exclues
- Mesures < LD
- Limite de Détection

Plage: 30 jours | Echelle: 1.E+01

Val.exclues Quadrillage

Composition du groupe de travail de médecins sur le calcul de dose interne

- **Membres** : Sylvie BRIQUE, Denise CAMERA, Philippe DEMEAUX, Thomas EHRET, Jean Luc GERBIER, Annick MASSON-CHEMALI, Hubert PEIFFER, Mathieu SAILLY, Catherine THOMAS, Romain GRARE (CEA)
- **Relecteurs** : Michel COUZINET, Nicolas GUERY, Stephane HENRY, Jean PHAN-VAN, Marc SANGRA, Carole SERRE, Véronique TOULMONDE, Gérard SCHMIDT
- **Pilotes** : Bernard LANDRY, Isabelle LE-COUTEULX

Evènements d'exposition interne rencontrés sur les CNPE

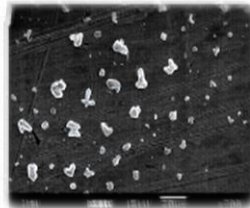
- par inhalation d'aérosols émetteurs gamma (plus fréquent, produits d'activation)
- par ingestion de particule chaude « gratton »
- mixte (aérosols et particule chaude)
- exposition interne aux iodes radioactifs (rare)
- *exposition aux produits de fission sur des chantiers à risque alpha (filère démantèlement)*

Aérosols vs particules chaudes

Aérosols



- Inhalation pulmonaire
- Remontée muco-ciliaire
- Passage digestif (réabsorption possible)
- Élimination selles / urines
- Rétention pulmonaire (suivi ATP)

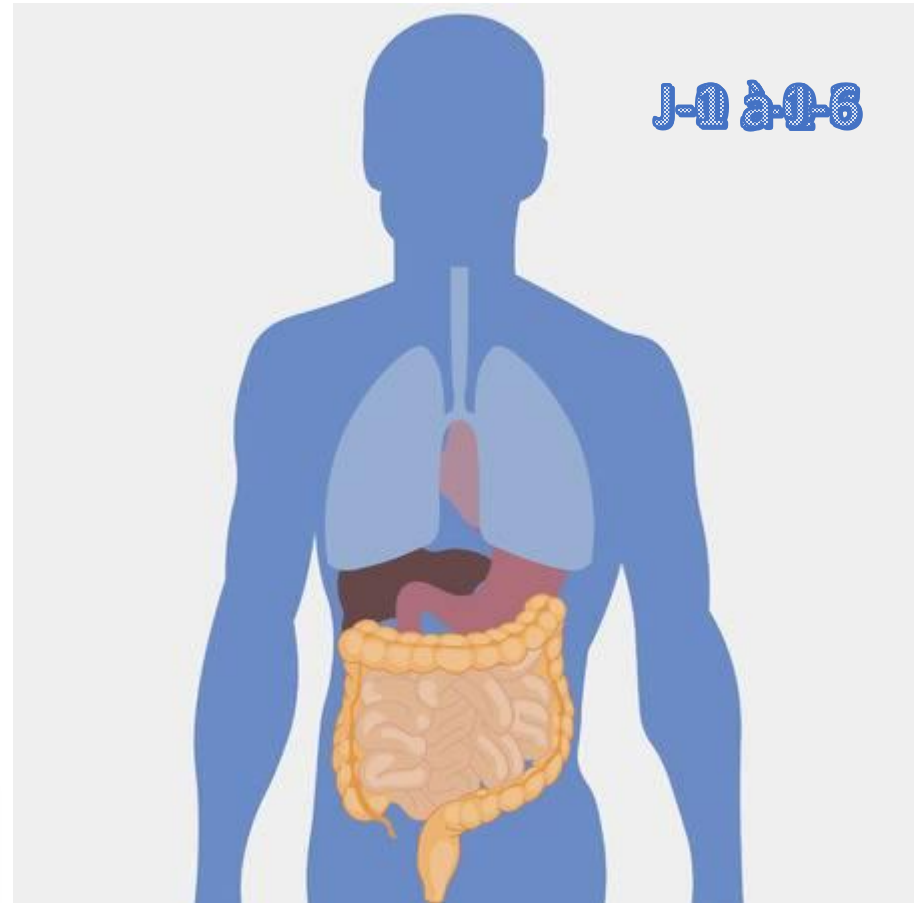
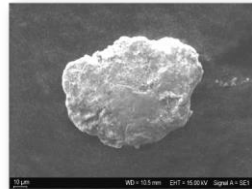


Particule chaude (associée ou non à un aérosol)



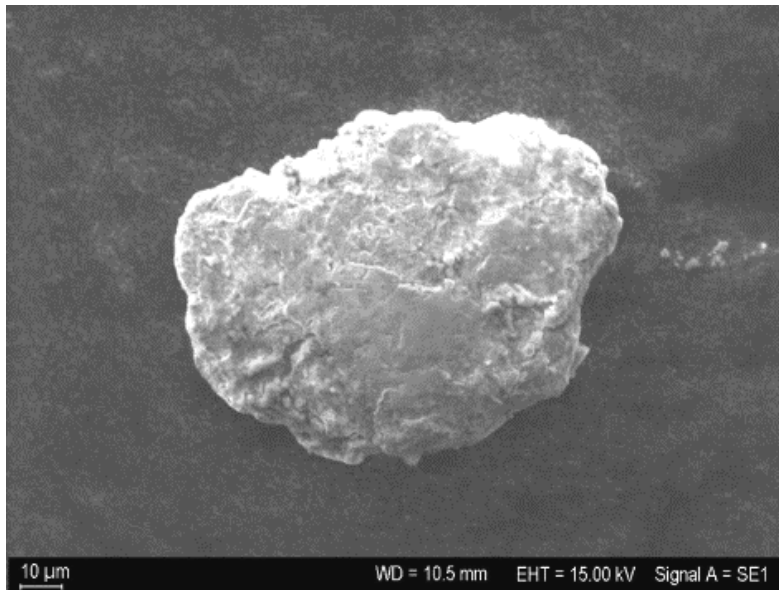
Modèle non décrit par la CIPR

- Inhalation, impact inertiel VAS
- Passage digestif rapide (sans réabsorption)
- Élimination selles (max J6)



Particule chaude (« gratton »)

- *Petit fragment radioactif*
- *Quelques dizaines à quelque centaines de μm*
- *Quelques kBq à plusieurs centaines de kBq*
- *Principalement **Cobalt 60***



Objectifs du guide dose interne

Permettre aux médecins du travail des CNPE EDF de répondre aux obligations réglementaires dans le cadre d'un programme de surveillance spéciale après incident de contamination.

- en rappelant les principes du calcul de la dose efficace engagée
- en proposant une démarche commune d'évaluation de la dose à l'aide de l'outil de calcul *CADORmed* (*)
- en proposant des fiches reflexes adaptées aux radionucléides rencontrés sur les CNPE (utilisable par les infirmiers et médecins des SPST)

Le guide s'appuie pour cela sur les Recommandations Françaises (Recommandations de Bonnes Pratiques publiées en juillet 2011), Européennes (Guide de Recommandation Technique de la Commission Européenne publié en novembre 2018) et les dernières publications de la CIPR.

- Ce guide n'aborde pas le cas particulier des plaies contaminées ou les situations d'accidents radiologiques impliquant un grand nombre de personnes.

() D'autres logiciels de calcul de dose sont disponibles : TAURUS, IDEAS Plus, MODOSE.*

Arrêté du 26 juin 2019

Dosimétrie interne : évaluation de la **dose efficace engagée** ou de la **dose équivalente engagée** suite à l'incorporation de radionucléides à partir de mesures directes (anthroporadiométrie) et/ou indirectes (examens radiotoxicologiques)

Le médecin du travail de l'INB **détermine** la dose à partir des résultats de ces examens.

→ Médecins des CNPE : en charge de l'estimation ou de l'évaluation.

Le médecin du travail de l'intervenant **communiqu**e à SISERI la dose dès lors que celle-ci est significative d'un point de vue de la radioprotection.

→ Médecins des CNPE : seuil d'enregistrement à partir de 0,1 mSv (émetteurs γ) (recommandations HAS, enregistrer 1 mSv sur 12 mois suite à un ou plusieurs évènements).

Arrêté du 26 juin 2019

- Annexe II

3 – Expression des résultats

- **Le médecin du travail détermine la dose efficace engagée ou la dose équivalente engagée selon les modalités de calcul définies aux articles R. 1333-23 et R. 1333-24 du code de la santé publique, compte tenu des paramètres connus de l'exposition, dès lors que les résultats des mesures de l'activité incorporée sont non nuls.**

Expositions internes par émetteurs gamma hors iode

Propositions du GT pour la démarche d'évaluation de la dose

- Les calculs sont faits en utilisant les derniers modèles bio-cinétiques et dosimétriques de la CIPR.
- Les paramètres par défaut utilisés pour **l'estimation initiale** sont :
 - **Mode d'incorporation : Inhalation** (mode proposé par défaut dans les publications scientifiques et la réglementation).
 - **Forme chimique :**
 - **Type S (oxydes).** Les radionucléides présents dans le circuit primaire sont sous forme d'oxydes. La forme oxyde est donc utilisée, bien qu'elle ne soit pas la forme chimique proposée par défaut dans les publications de la CIPR.
 - Une exception à cette règle concerne le Césium dont la forme chimique sur les CNPE est le type F. A noter également que pour l'Argent 110m, la forme chimique n'est pas clairement établie et la forme F ne peut être exclue.
 - **Granulométrie : granulométrie 1 µm.** La valeur proposée par défaut dans les publications de la CIPR est de 5 µm.

Le **choix de retenir une granulométrie de 1 µm a été fait à titre conservateur en s'appuyant sur la thèse du Dr Mathieu Sailly** « Étude de la cinétique anthropogammamétrique dans l'évaluation de la dose efficace engagée après contamination interne par radionucléides émetteurs gamma en installation nucléaire de base », **qui a montré que plus de 30% des contaminations internes observées sur les CNPE correspondaient à une granulométrie de 1 µm.** Ceci est en cohérence avec les études réalisées par la R&D sur la granulométrie, qui ont montré l'influence des activités de maintenance, lors d'un arrêt de tranche, sur le DAMA des aérosols. Ainsi, **les activités de taraudage, nettoyage et décontamination de fond de piscine, sont pourvoyeuses de petites particules (\leq à 1 µm).**

- **Estimation sur l'examen anthropogammamétrique (ATP) dit de « référence » (une mesure):**
 - Lorsque l'estimation initiale donne un niveau négligeable ($< 0,1$ mSv) cette seule estimation suffit et le résultat est exprimé sous la forme *dose interne* $< à 0,1$ mSv.
 - **Lorsque l'estimation initiale est $\geq 0,1$ mSv elle correspond au Seuil d'Evaluation de Dose (SED), il convient dans ce cas de réaliser une évaluation.**
- Les niveaux de l'ATP de référence sont calculés dans l'hypothèse d'une mesure effectuée **6 heures** après l'incorporation. Ce choix s'avère conservateur car l'ATP de référence est dans la grande majorité des cas obtenue avant ce délai.

Estimation de la dose sur l'ATP de référence (à 6 h de l'incorporation)

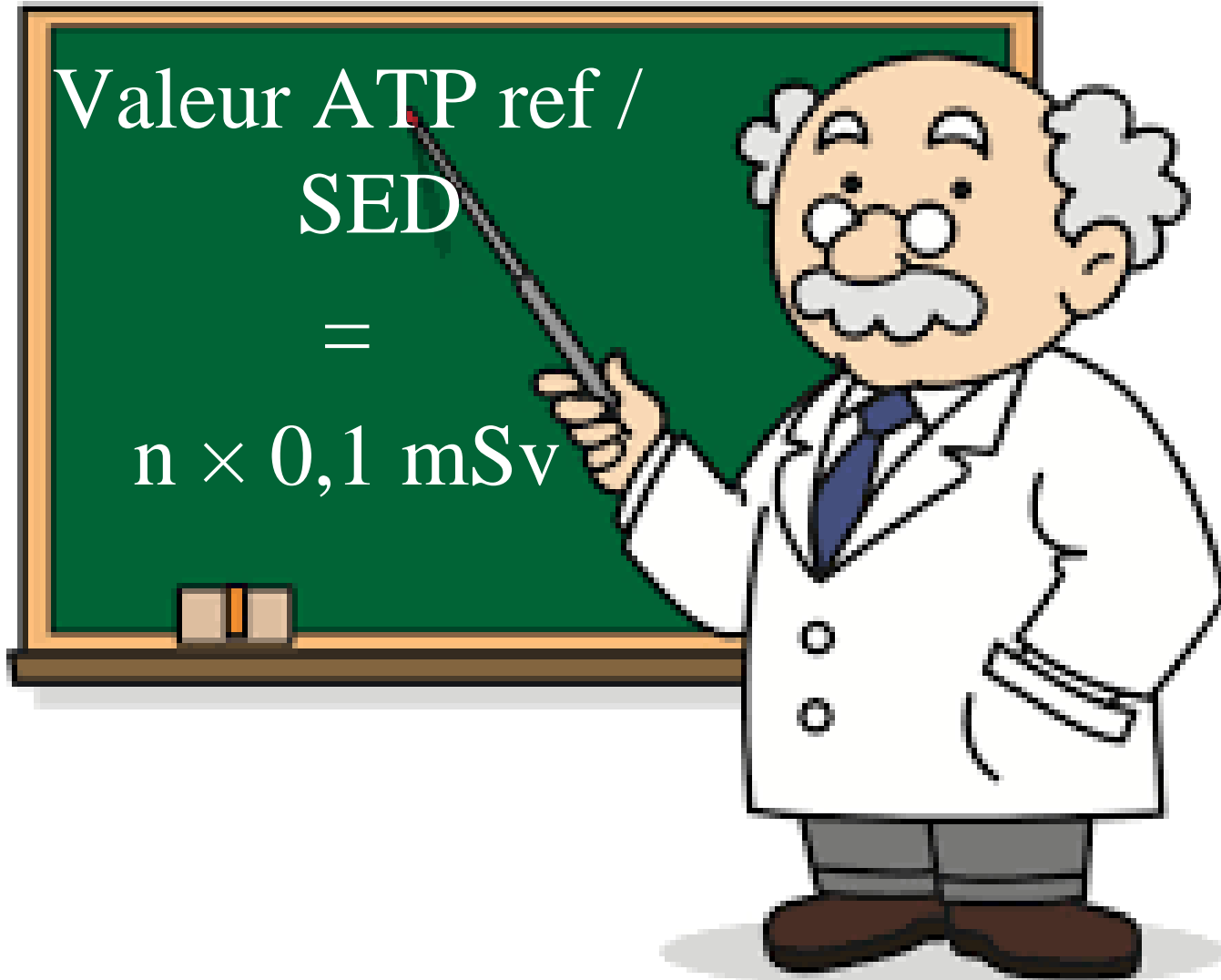
Activités incorporées correspondant au SED <i>Hypothèse Inhalation, DAMA 1 µm</i>					
Radionucléide	Forme chimique	Coefficient de dose (Sv / Bq)		Activité incorporée (Bq) correspondant à une dose interne de 0,1 mSv	Activité mesurée à 6 h (Bq)
Co 58	Type S	2,40E-09	ICRP 134	4,17E+04	20 000
Co 60	Type S	5,90E-08	ICRP 134	1,69E+03	800
Ag 110 m	Type S	1,20E-08	ICRP 119	8,33E+03	4 000
Mn 54	Type M	1,50E-09	ICRP 119	6,67E+04	32 000
50% Zr 95 - 50% Nb 95	Type S	2,90E-09	ICRP 134	3,45E+04	16 000
Sb 124	Type S	7,40E-09	ICRP 137	1,35E+04	6 400
Cs 137	Type F	6,00E-09	ICRP 137	1,67E+04	7 500
Cs 134	Type F	6,20E-09	ICRP 137	1,61E+04	7 700

Estimation de la dose ATP référence

Valeur ATP ref /
SED

=

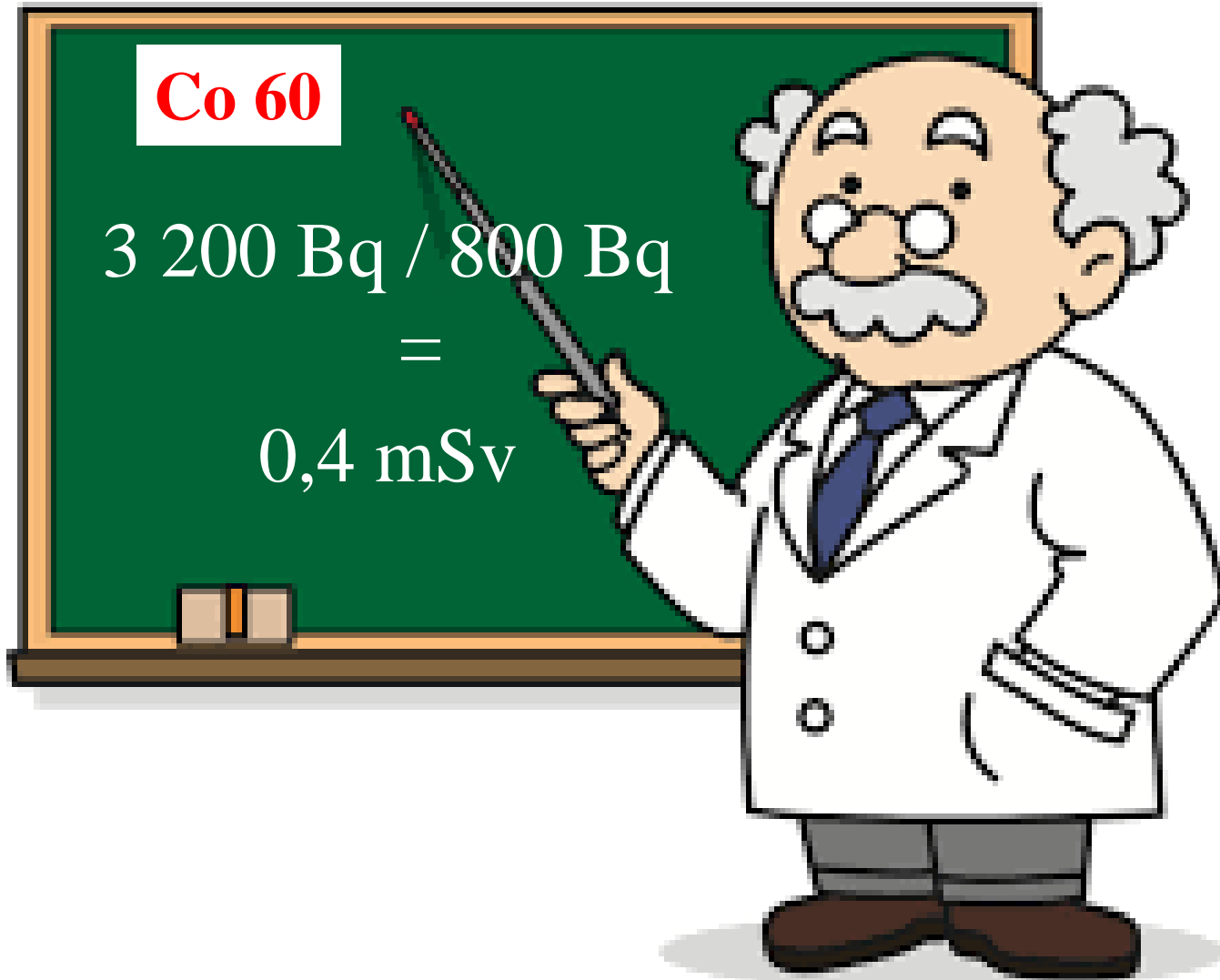
$n \times 0,1 \text{ mSv}$



Estimation de la dose ATP référence

Co 60

$$\begin{aligned} 3\,200 \text{ Bq} / 800 \text{ Bq} \\ = \\ 0,4 \text{ mSv} \end{aligned}$$



Expositions internes par émetteurs gamma hors iode

Propositions du GT pour la démarche d'évaluation de la dose

Evaluation par le suivi sur les mesures ATP successives

- **Le suivi sur les mesures ATP est la méthode de référence pour l'évaluation dosimétrique.**
- **Afin d'identifier au mieux le modèle biocinétique, pour l'évaluation de dose, il est recommandé de réaliser des mesures ATP rapprochées les 10 premiers jours car la cinétique sur cette période est très contributive pour la détermination de la granulométrie : dans l'idéal une mesure quotidienne, sinon a minima, 6 mesures sur cette période.**
- **Puis une mesure ATP par semaine sur le mois suivant est suffisante. Le cas échéant une mesure par mois peut être réalisée les mois suivants (contamination pulmonaire persistante).**

Recommandations du GT pour la validation des paramètres du modèle et la validation de la dose

- La **validation des paramètres du modèle** est réalisée avec l'outil **CADOR_{med}** (*formation spécifique*) dans l'ordre suivant :
 - Analyse visuelle de la courbe sur le graphique
 - Résultat au test du khi²
- Il est **recommandé au médecin du travail de valider toute estimation (évaluation) de dose efficace engagée avec un pair et lorsque l'estimation (évaluation) aboutit à une dose supérieure au quart de la limite réglementaire (5 mSv) de la valider avec un expert.** (Recommandation HAS 49).

- **Le GT recommande, pour toute évaluation supérieure ou égale à 0,1 mSv, de procéder à une analyse croisée au niveau local ou avec un membre du groupe de travail calcul de la dose interne.** Ceci facilite la mise en place d'une méthode commune d'évaluation de la dose interne, contribue à l'amélioration continue des connaissances, alimente le partage d'expérience avec le groupe de travail national et légitime le résultat obtenu dans l'intérêt du suivi des salariés.
- Le médecin du travail peut solliciter l'appui de l'IRSN pour le calcul de dose.

Tableau synthétique en fonction de l'activité mesurée de l'ATP de référence (< 100 000 Bq)

		Activité mesurée	Activité < 20 000 Bq	20 000 Bq ≤ Activité < 100 000 Bq	
Co 58 1 μm Type S	Dose interne		Inférieure dans tous les cas à 0,1 mSv	Peut être supérieure ou égale à 0,1 mSv	
	Suivi ATP		Pour tracer le retour à un niveau NS	Rapproché les 10 premiers jours Pour valider le modèle et évaluer la dose interne	
	Examens radio-toxicologiques		Inutiles	Peu contributifs	
	CADORmed		Inutile	Utile	
Co 60 1 μm Type S		Activité mesurée	Activité < 800 Bq	800 Bq ≤ Activité < 50 000 Bq	50 000 Bq ≤ Activité < 100 000 Bq
	Dose interne		Inférieure dans tous les cas à 0,1 mSv	Peut être supérieure ou égale à 0,1 mSv	
	Suivi ATP		Pour tracer le retour à un niveau NS	Rapproché les 10 premiers jours	Rapproché les 10 premiers jours Si pic détecteur bas > 5 fois pic détecteur haut : réaliser des couples ATP face/dos Urines des 24 premières heures. Selles des 3 premiers jours (voire plus) si suspicion de particule chaude
	Examens radio-toxicologiques		Inutiles	Peu contributifs	Selles sur 3 jours au-delà du 30 ^{eme} jour si modèle inhalation
	CADORmed		Inutile	Utile	

Tableau synthétique en fonction de l'activité mesurée de l'ATP de référence (< 100 000 Bq)

	Activité mesurée	Activité < 4 000 Bq	4000 Bq ≤ Activité < 100 000 Bq
Argent 110m 1 µM Type S	Dose interne	Inférieure dans tous les cas à 0,1 mSv	Peut être supérieure ou égale à 0,1 mSv
	Suivi ATP	Pour tracer le retour à un niveau NS	Rapproché les 10 premiers jours Pour valider le modèle et évaluer la dose interne
	Examens radio-toxicologiques	Inutiles	Les urines des premiers jours peuvent aider à déterminer la forme chimique (si la prévision par le modèle est > LD)
	CADOR _{med}	Inutile	Utile
	Activité mesurée	Activité < 32 000 Bq	32 000 Bq ≤ Activité < 100 000 Bq
Manganèse 54 1 µm Type M	Dose interne	Inférieure dans tous les cas à 0,1 mSv	Peut être supérieure ou égale à 0,1 mSv
	Suivi ATP	Pour tracer le retour à un niveau NS	Rapproché les 10 premiers jours Pour valider le modèle et évaluer la dose interne
	Examens radio-toxicologiques	Inutiles	Utiles, peuvent contribuer à la validation du modèle et l'évaluation de la dose interne.
	CADOR _{med}	Inutile	Utile

Tableau synthétique en fonction de l'activité mesurée de l'ATP de référence (< 100 000 Bq)

Zirconium 95 / Niobium 95 1 µm Type S	Activité mesurée	Activité < 16 000 Bq	16 000 Bq ≤ Activité < 100 000 Bq
	Dose interne	Inférieure dans tous les cas à 0,1 mSv	Peut être supérieure ou égale à 0,1 mSv
	Suivi ATP	Pour tracer le retour à un niveau NS	Rapproché les 10 premiers jours Pour valider le modèle et évaluer la dose interne
	Examens radio-toxicologiques	Inutiles compte tenu des très faibles activités excrétées	
	CADOR _{med}	Inutile	Utile
Antimoine 124 1 µm Type S	Activité mesurée	Activité < 6 400 Bq	6 400 Bq ≤ Activité < 100 000 Bq
	Dose interne	Inférieure dans tous les cas à 0,1 mSv	Peut être supérieure ou égale à 0,1 mSv
	Suivi ATP	Pour tracer le retour à un niveau NS	Rapproché les 10 premiers jours Pour valider le modèle et évaluer la dose interne
	Examens radio-toxicologiques	Inutiles	Urines utiles pour déterminer la forme chimique
	CADOR _{med}	Inutile	Utile

Tableau synthétique en fonction de l'activité mesurée de l'ATP de référence (< 100 000 Bq)

**Césium
137**

**1 µm
Type F**



**Césium
134**

**1 µm
Type F**

Activité mesurée

Activité < 7 500 Bq

7 500 Bq ≤ Activité < 100 000 Bq

Dose interne

Inférieure dans tous les cas à 0,1 mSv

Peut être supérieure ou égale à 0,1 mSv

Suivi ATP

Pour tracer le retour à un niveau NS

Rapproché les 10 premiers jours
Pour valider le modèle et évaluer la dose interne

Examens radio-
toxicologiques

Inutiles pour évaluer la dose liée au Cs mais utiles car ce sont des PF donc on peut rechercher des alphas

Urines utiles pour valider le type F

CADOR_{med}

Inutile

Utile

Activité mesurée

Activité < 7 700 Bq

7 700 Bq ≤ Activité < 100 000 Bq

Dose interne

Inférieure dans tous les cas à 0,1 mSv

Peut être supérieure ou égale à 0,1 mSv

Suivi ATP

Pour tracer le retour à un niveau NS

Rapproché les 10 premiers jours
Pour valider le modèle et évaluer la dose interne

Examens radio-
toxicologiques

Inutiles pour évaluer la dose liée au Cs mais utiles car ce sont des PF donc on peut rechercher des alphas

Urines utiles pour valider le type F

CADOR_{med}

Inutile

Utile

CONCLUSION

- Cette présentation est issue d'un guide pratique élaboré en 2021.
- Il est à destination des équipes paramédicales et médicales des Services de Prévention et de Santé au Travail des CNPE.
- Il propose des conduites à tenir qui vont de la prise en charge initiale des évènements jusqu'à l'évaluation de la dose interne en s'appuyant principalement sur les mesures réalisées par anthroporadiométrie (ATP) et en utilisant un outil de calcul développé en interne (Cadormed).
- Nous proposons ainsi une démarche d'estimation puis d'évaluation de la dose interne ainsi que des recommandations permettant la validation des paramètres du modèle bio-cinétique de la CIPR à retenir pour la validation de la dose interne.
- Nous avons également quelques fiches synthétiques qui définissent les conduites à tenir en fonction des radionucléides identifiés et des activités mesurées (en termes de dose interne estimée, de suivi ATP à réaliser, de prescription d'examen radiotoxicologiques éventuels, d'utilisation de Cadormed).

MERCI de votre attention

