

Évaluer les doses liées à la consommation de denrées contaminées

AL2

Connaître la radioactivité des aliments

La principale méthode employée pour mesurer l'activité massique des aliments est la spectrométrie gamma. Cette technique permet d'identifier les radionucléides contenus dans l'échantillon à partir de l'énergie des rayonnements gamma qu'ils émettent, et de les quantifier, en Bq/kg pour les solides ou Bq/l pour les liquides.

La spectrométrie gamma ne permet toutefois pas de détecter les radionucléides qui n'émettent pas ou trop peu de rayonnements gamma, par exemple le strontium 90 ou le plutonium 239, radionucléides pouvant être rejetés en cas d'accident nucléaire et qui ne peuvent être mesurés qu'avec des techniques spécifiques.

Remarque : comme le montre la fiche AL5, un radiamètre grand public (par exemple un compteur Geiger-Müller) n'est pas adapté pour quantifier les radionucléides contenus dans les aliments.

Les résultats d'une analyse par spectrométrie gamma font généralement l'objet d'un rapport d'essai, sur lequel ils sont exprimés de la manière suivante.

Lorsque le radionucléide est détecté, l'activité massique est assortie d'une incertitude. Par exemple, 100 ± 20 Bq/kg signifie que le résultat est compris entre 80 et 120 Bq/kg, et la valeur la plus probable est 100 Bq/kg¹ ;

Lorsque le radionucléide n'est pas détecté, le résultat est exprimé par rapport à une limite de détection. Par exemple, < 10 Bq/kg signifie que le résultat réel est compris entre 0 et 10 Bq/kg² mais on ne peut pas garantir que le radionucléide soit absent. Pour estimer les doses liées à une activité inférieure à une limite de détection,

L'évaluation des doses comporte 3 étapes :

1/ Déterminer l'activité massique (Bq/kg) des radionucléides contenus dans les aliments

2/ Estimer l'activité ingérée (Bq) en fonction de la masse d'aliments consommés

3/ Déterminer la dose efficace (Sv) à partir des coefficients de dose

l'approche la plus prudente consiste à utiliser une valeur égale à la limite de détection (ici 10 Bq/kg). Prendre la moitié de la limite de détection peut être un bon compromis.

Il peut s'avérer difficile, notamment en situation accidentelle, de disposer rapidement de résultats d'analyse représentatifs des aliments consommés, pour tous les radionucléides.

Évaluer les doses

Afin de convertir une activité (en Bq) en une dose efficace (en Sv), des coefficients de « dose efficace engagée » par unité incorporée ont été définis par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)³ et repris dans les réglementations de l'Union Européenne⁴ et de la Suisse⁵.

Qu'est-ce qu'une « dose efficace engagée » ?

Une dose est dite « efficace » lorsqu'elle prend en compte l'impact des rayonnements ionisants sur tous les organes, en fonction de leur radiosensibilité et des types de rayonnement qui les atteignent.

Une dose est dite « engagée » lorsqu'elle prend en compte l'impact des rayonnements ionisants émis par les radionucléides pendant les 50 ans suivant leur absorption pour les adultes et jusqu'à l'âge de 70 ans pour les enfants.

Par exemple, pour un enfant de 5 ans, le coefficient de dose efficace engagée du plutonium 239 (période physique : 24 100 ans) est de $0,33 \mu\text{Sv/Bq}$. Si l'enfant ingère 1 000 Bq de Pu 239, il sera exposé à $330 \mu\text{Sv}$. Cette valeur rend compte de la dose de rayonnement qui sera délivrée par ces 1 000 Bq à tous les organes

¹ Généralement le résultat est exprimé avec un intervalle de confiance de 95% : il y a 95% de chances que le résultat se situe dans les bornes de l'intervalle de confiance (dans l'exemple pris les bornes sont 80 et 120 Bq/kg).

² Ou plutôt (dans le cas d'un intervalle de confiance de 95%), il y a 95% de

³ ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119.

⁴ Directive 96/29.

⁵ Ordonnance sur la radioprotection du 26 avril 2017 (814.501).

radiosensibles où le plutonium 239, radionucléide de longue période qui reste pratiquement fixé à vie dans l'organisme, se concentre (notamment les surfaces osseuses, le foie, la moelle osseuse, les gonades), et ce jusqu'à 70 ans (soit pendant 65 ans).

Pour plus de renseignements, cf. fiche G2.

Des coefficients variables

Des coefficients ont été établis pour chaque radionucléide. Ils varient selon la voie d'exposition (inhalation, ingestion), la catégorie (public, travailleurs)

et, dans le cas du public, la tranche d'âge (moins d'1 an, 1 à 2 ans, 2 à 7 ans, 7 à 12 ans, 12 à 17 ans et plus de 17 ans).

La présente fiche concerne les coefficients de dose « ingestion » pour le public.

Le tableau ci-dessous liste les coefficients de 5 radionucléides parmi les plus préoccupants en cas d'accident nucléaire : strontium 90, iode 131, césium 134, césium 137, plutonium 239. Les autres coefficients sont consultables dans les textes précités.

Coefficients de dose incorporée par ingestion pour les personnes du public (μSv/Bq)							
Radionucléide	Période physique	≤ 1 an	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	> 17 ans
		μSv/Bq	μSv/Bq	μSv/Bq	μSv/Bq	μSv/Bq	μSv/Bq
Strontium 90	29,1 ans	0,230	0,073	0,047	0,060	0,080	0,028
Iode 131	8,04 jours	0,180	0,180	0,100	0,052	0,034	0,022
Césium 134	2,06 ans	0,026	0,016	0,013	0,014	0,019	0,019
Césium 137	30,0 ans	0,021	0,012	0,010	0,010	0,013	0,013
Plutonium 239	24 100 ans	4,200	0,420	0,330	0,270	0,240	0,250

Source : Directive Euratom 96/29

Si vous utilisez les tableaux officiels, vous trouverez les coefficients exprimés en Sv/Bq et écrits en affichage scientifique, par exemple $2,3 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq.

Pour plus de lisibilité, les coefficients peuvent être écrits en millisieverts (mSv) ou microsieverts (μSv) par becquerel, avec : 1 Sv = 1 000 mSv = 1 000 000 μSv.

Pour convertir les Sv/Bq en μSv/Bq, il faut multiplier les valeurs par 1 000 000, par exemple : $2,3 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq = 0,00000023 Sv/Bq = 0,23 μSv/Bq⁶.

Exemple de calcul

Prenons le cas d'épinards contenant :

- 700 Bq/kg de strontium 90 (Sr 90),
- 1 500 Bq/kg d'iode 131 (I 131),
- 300 Bq/kg de césium 134 (Cs 134),
- 500 Bq/kg de césium 137 (Cs 137),
- 10 Bq/kg de plutonium 239 (Pu 239).

Un adulte consommant une ration de 300 grammes (0,3 kg) va ingérer les **activités** suivantes :

- $700 \times 0,3 = 210$ Bq de Sr 90,
- $1\,500 \times 0,3 = 450$ Bq d'I 131,
- $300 \times 0,3 = 90$ Bq de Cs 134,
- $500 \times 0,3 = 150$ Bq de Cs 137,
- $10 \times 0,3 = 3$ Bq de Pu 239.

D'après le tableau ci-dessus, les **coefficients de dose** incorporée par ingestion sont, pour un adulte :

- 0,028 μSv/Bq pour le Sr 90,
- 0,022 μSv/Bq pour l'I 131,
- 0,019 μSv/Bq pour le Cs 134,
- 0,013 μSv/Bq pour le Cs 137,
- 0,250 μSv/Bq pour le Pu 239.

Pour déterminer la **dose efficace** liée à l'ingestion de chacun des radionucléides, il faut multiplier l'activité du radionucléide par le coefficient de dose correspondant, ce qui donne :

- $210 \times 0,028 = 5,88$ μSv pour le Sr 90,
- $450 \times 0,022 = 9,90$ μSv pour l'I 131,
- $90 \times 0,019 = 1,71$ μSv pour le Cs 134,
- $150 \times 0,013 = 1,95$ μSv pour le Cs 137,
- $3 \times 0,250 = 0,75$ μSv pour le Pu 239.

⁶ Transformation de l'affichage scientifique en affichage classique : $2,3 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq = $2,3/10^7 = 2,3/10000000$ (1 suivi de 7 zéros) = 0,00000023 Sv/Bq

Conversion : $0,00000023$ Sv/Bq \times 1000000 = 0,23 μSv/Bq

En faisant la somme des doses délivrées par les 5 radionucléides, on obtient la dose totale liée à l'ingestion des 300 grammes d'épinards, soit **20 μ Sv** (20,19).

Si le consommateur n'est pas un adulte mais un adolescent, la dose efficace est portée à **36 μ Sv** car les coefficients de dose sont plus élevés (en supposant une consommation équivalente à celle d'un adulte).

Pour un enfant de 1 à 2 ans, les coefficients de dose sont encore supérieurs, mais la quantité de nourriture ingérée est généralement moins importante. Pour une portion de 80 grammes au lieu de 300, on obtient une dose efficace de **27 μ Sv**.

Après un accident, pour estimer la dose efficace totale liée à l'ingestion, il faut répéter le processus avec tous les autres aliments à risque du même repas, ainsi que de tous les autres repas pris pendant la durée de contamination.



Les retombées radioactives peuvent contaminer particulièrement les légumes à larges feuilles tels que les épinards

Les limites de cette approche

Les effets biologiques liés à l'incorporation d'un radionucléide diffèrent en fonction de nombreux paramètres : caractéristiques physico-chimiques du radionucléide, rayonnements émis lors de sa désintégration, organes touchés, caractéristiques anatomiques et physiologiques individuelles, ...

Les coefficients de dose proposés par la CIPR correspondent à la simplification d'une situation complexe et comportent d'importantes incertitudes.

Ces coefficients évoluent logiquement en fonction de l'avancée des connaissances. Les coefficients actuels sont parus au cours des années 1990 ; une refonte est en cours, à partir des bases définies dans la publication 103 de la CIPR (2007).

Compte tenu de ces éléments, les coefficients doivent être pris avec précaution. Il faut souligner que l'évaluation des doses efficaces est effectuée par rapport à un individu de référence et ne rend pas compte des particularités individuelles.

[Pour plus de renseignements, cf. fiche G2.](#)

En ajoutant la dose liée à l'ingestion aux doses induites par les autres voies d'exposition (inhalation, exposition interne, ...), on obtient la dose efficace globale qui peut être comparée à des limites et valeurs de référence réglementaires qui sont, pour le public :

- 1 mSv par an en situation normale⁷,
- 100 mSv pour une situation d'urgence,
- 20 mSv par an en phase post-accidentelle.

Toutefois, compte tenu des difficultés d'obtention des résultats d'analyse, et de l'insuffisance des garanties apportées par les niveaux maximaux admissibles (NMA) de contamination des aliments mis sur le marché, il est important, en cas d'accident nucléaire, de choisir en priorité des aliments a priori non impactés.

[Pour les NMA, cf. fiche AL4](#)

[Pour le choix des aliments, cf. fiche AL2](#)

⁷ Cette limite s'applique au cumul des expositions aux rayonnements ionisants générés par l'ensemble des activités nucléaires.