

FICHE N°4

L'évaluation de l'exposition radiologique des personnes au radium et à ses descendants sur des sites pollués

Cette fiche présente l'objectif et la démarche générale suivie par l'IRSN pour évaluer l'exposition au radium et à ses descendants à laquelle peuvent être soumises les personnes occupant ou fréquentant des sites pollués par du radium. La méthodologie mise en œuvre pour chaque voie d'exposition est décrite.

1. LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'ÉVALUATION DOSIMÉTRIQUE

1.1. L'Objectif

L'évaluation des doses dues à l'exposition au radium et à ses descendants sur les sites pollués vise à estimer le niveau de risque qui résulte de cette exposition pour la santé des personnes occupant ou fréquentant ces sites. Les résultats de cette évaluation ne sont pas directement utilisés pour décider des actions de réhabilitation qui pourraient, le cas échéant, être entreprises à l'issue du diagnostic, mais ils peuvent contribuer à guider le choix de ces actions.

Les personnes occupant des lieux pollués par du radium et ses descendants radioactifs peuvent être exposées aux rayonnements ionisants émis par ces radionucléides, selon différentes voies, de manière concomitante (fiche IRSN n°3). La dose efficace est utilisée pour évaluer l'impact sanitaire global lié à cette exposition. Rappelons que la dose efficace est un indicateur de radioprotection défini par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) ; elle prend en compte les doses délivrées à chacun des organes du corps humain exposés à des rayonnements ionisants et leur sensibilité propre à ces rayonnements. Elle s'exprime en millisievert (mSv).

1.2. La démarche

L'évaluation des doses efficaces reçues par une personne nécessite d'une part, de disposer de toutes les caractéristiques radiologiques du site concerné (ces données sont obtenues lors de la campagne de diagnostic réalisée par l'IRSN, cf. fiche IRSN n°2), d'autre part de prendre en compte les paramètres individuels liés au mode de vie dont sont susceptibles de dépendre les différentes voies d'exposition (en particulier les temps passés à différents endroits, compte tenu des variations du niveau de la radioactivité d'un endroit à l'autre du site).

Le calcul de la dose efficace dans des situations où les sources et les voies d'exposition sont multiples peut être relativement complexe ; ce calcul doit être effectué de manière d'autant plus fine que le niveau de pollution est élevé. Inversement, la précision du calcul n'est pas nécessairement requise si le niveau d'exposition est très faible, l'ordre de grandeur de la dose étant dans ce cas suffisant pour conclure à l'absence de risque ou de nécessité d'engager des actions de radioprotection.

L'approche retenue par l'IRSN pour procéder aux évaluations de dose est de type graduée (figure 1).

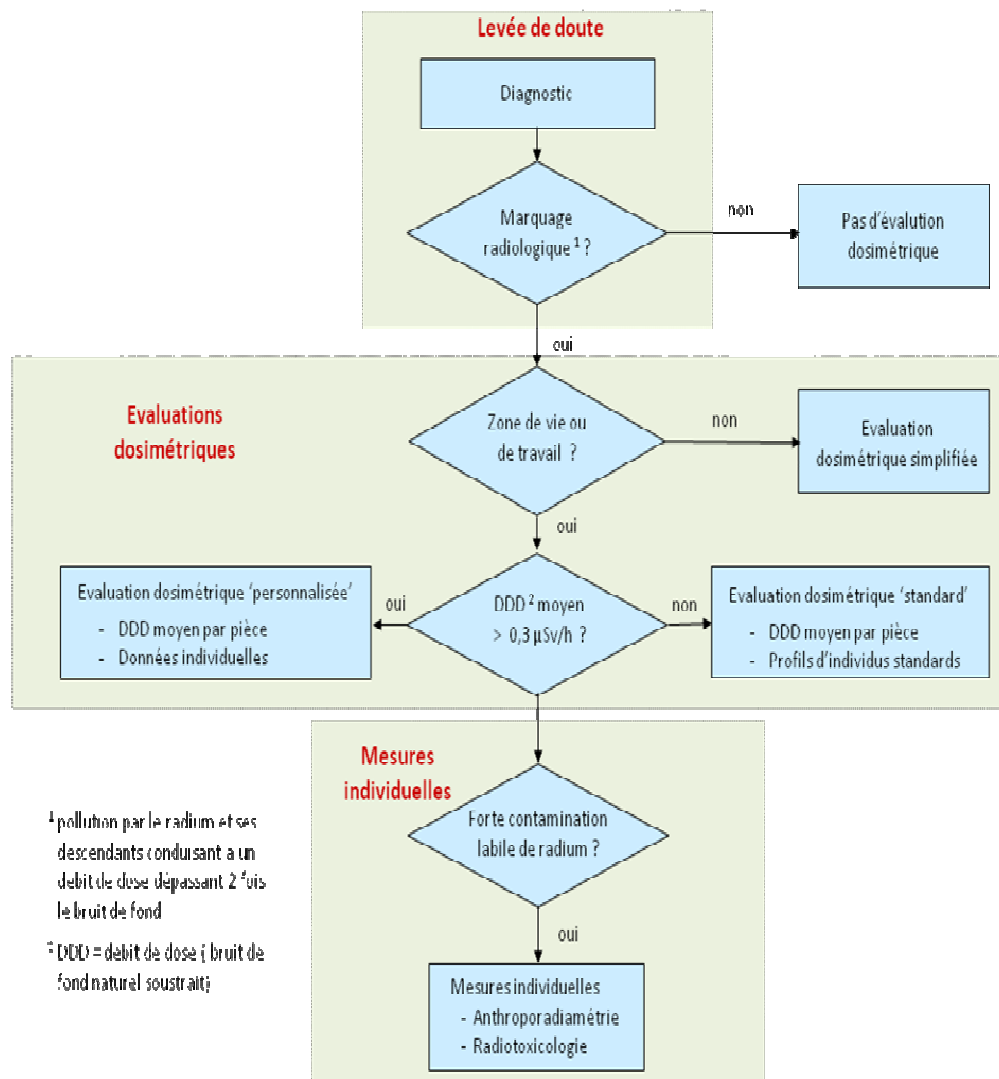


Figure 1 - Approche graduée de l'évaluation dosimétrique

Lorsqu'aucun *marquage radiologique*¹ par du radium n'a été mis en évidence sur le site, aucune évaluation de dose n'est entreprise. A contrario, lorsqu'un marquage radiologique par du radium a été identifié, les évaluations de dose sont réalisées en tenant compte de l'ampleur du marquage et de sa localisation. Si le marquage se trouve en dehors de lieux où le temps de séjour est significatif (par exemple, une partie commune d'un immeuble) l'évaluation de dose est réalisée de manière simplifiée, en s'attachant à estimer les doses maximales susceptibles d'être reçues.

Dans le cas contraire (par exemple dans une habitation : une chambre à coucher ou une salle à manger ; sur un lieu de travail : un bureau...), le débit de dose moyen dans les pièces concernées est déterminé à partir des mesures. Si ce débit de dose moyen (bruit de fond naturel déduit) est inférieur à 0,3 µSv/h, il est considéré comme peu vraisemblable que la dose efficace annuelle pour les occupants soit supérieure à 1 mSv. La dose efficace est alors calculée sur la base de scénarios avec des profils d'individus standards dont on estime forfaitairement les temps respectifs passés dans les différentes pièces et, le cas échéant, à l'extérieur. Des exemples de profils standards sont donnés dans le tableau 1.

¹ Désigne une pollution par le radium et ses descendants conduisant à dépasser 2 fois le bruit de fond naturel

Tableau 1 - Exemples de temps de présence (heures par jour, en moyenne sur l'année) pour des profils d'individus standards, dans les différentes parties de la propriété et sur la voirie du quartier*

	chambre	salon	autres pièces	sous-sol	jardin	voirie quartier
profil 1	9,5	7	1	0,5	2	0,5
profil 2	9	3,5	2	0,5	1	0,5
profil 3	13	7	0	0	2	0,5
profil 4	12	4	0	0	2	0,5

* La somme des heures passées dans chaque partie de la propriété est inférieure à 24h, il est supposé que le reste de la journée est passé à l'extérieur.

Profil 1 : Personne adulte sans activité extérieure, restant à domicile

Profil 2 : Personne adulte ayant une activité extérieure

Profil 2 : Enfant de trois ans en permanence au domicile

Profil 3 : Enfant de dix ans scolarisé.

Si le débit de dose moyen (toujours bruit de fond naturel déduit) est supérieur à 0,3 $\mu\text{Sv/h}$, le calcul est « personnalisé » : la dose efficace est calculée en prenant en compte les données propres aux individus concernés, recueillies directement auprès de ceux-ci.

De manière exceptionnelle, au cas par cas (contamination labile significative avérée), des mesures individuelles de la contamination interne (examens anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques) peuvent être mises en œuvre (§ 4).

2. L'EVALUATION DOSIMETRIQUE

L'évaluation dosimétrique comprend la dose externe ainsi que les doses internes par inhalation et ingestion. Les données radiologiques et celles relatives à l'individu sur lesquelles repose cette évaluation sont indiquées sur la figure 2.

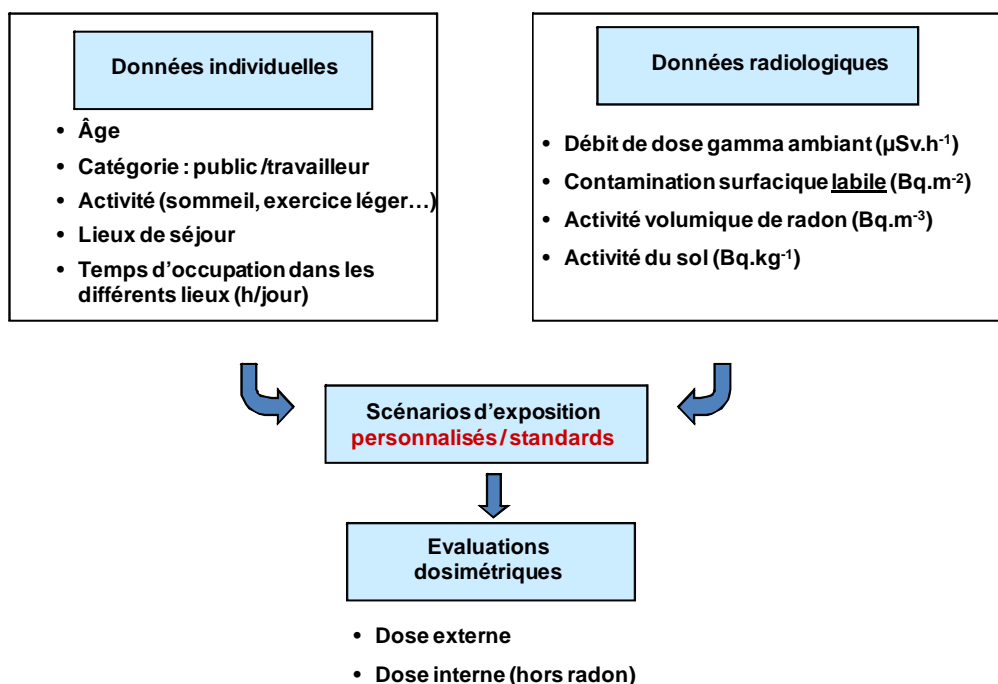


Figure 2 - Données nécessaires à l'évaluation dosimétrique

2.1. Dose externe

D'une manière générale, il est admis que le débit de dose moyen mesuré dans chaque pièce est représentatif de celui auquel est exposé en moyenne un individu qui s'y trouve. La dose cumulée sur une année est alors calculée en considérant les temps moyens d'occupation de chacune de ces pièces au cours de l'année. Lorsque des niveaux de débit de dose très variables sont mesurés et que le temps de présence n'est pas le même en tout point, la dose efficace peut être calculée de manière plus réaliste à partir des mesures de débit de dose gamma ambiant aux différents points et en tenant compte des temps passés en ces points. La même démarche est suivie, le cas échéant, pour une exposition à l'extérieur des bâtiments.

2.2. Dose interne

Le calcul de la dose interne est réalisé dans le cas où une quantité significative de radium présent sur les surfaces accessibles aux personnes n'est pas fixée (pollution dite labile). Le calcul prend alors en considération les différents radionucléides identifiés (radium 226 et ses descendants).

2.2.1 Inhalation

La principale voie d'exposition interne est l'inhalation de poussières de radium (et de ses descendants) dans l'air des pièces de bâtiment, par suite d'une remise en suspension de particule radioactives présentes en surface dans ces pièces, ou par transfert de la pollution du sol extérieur puis remise en suspension également (fiche IRSN n°3).

Les quantités de radionucléides remises en suspension dans l'air sont estimées à l'aide de *coefficients de remise en suspension* déterminés expérimentalement : 10^{-5} m^{-1} pendant les heures de sommeil (cas d'une circulation d'air sur la pollution radioactive labile, provoquée par la ventilation ambiante) et 5.10^{-5} m^{-1} pendant les heures de veille (cas de la marche d'une personne sur une surface présentant une pollution radioactive labile).

La dose due à l'inhalation des particules présentes dans l'air est ensuite calculée à l'aide des coefficients de dose fixés par le code de la santé publique (tableau 2), tenant compte des temps passés et des débits respiratoires des individus issus de la publication 66 de la Commission internationale de protection radiologique (tableau 3).

Tableau 2 - Coefficients de dose pour l'inhalation (Sv par Bq inhalé)

	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po
Adulte	$3,5.10^{-6}$	$1,1.10^{-6}$	$3,3.10^{-6}$
Enfant de 10 ans	$4,9.10^{-6}$	$1,5.10^{-6}$	$4,6.10^{-6}$
Enfant de 3 ans*	$9,0.10^{-6}$	$3,0.10^{-6}$	$8,9.10^{-6}$

* la réglementation ne fournit pas de valeurs pour les enfants de 3 ans ; les valeurs données ici ont été obtenues en faisant la moyenne des valeurs correspondant aux enfants de 1 à 2 ans et de 2 à 7 ans

**Tableau 3 - Débits respiratoires (m³/h)
en fonction de l'âge et de l'activité (CIPR 66)**

	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 3 ans*
Repos	0,5	0,4	0,2
Activité modérée	1,4	0,9	0,4
Activité intense	2,9	0,9	0,40

** La CIPR ne propose pas de valeur pour les enfants de 3 ans. Les valeurs utilisées ont été calculées par interpolation linéaire entre 1 an et 5 ans.*

Les débits respiratoires correspondant aux périodes de repos sont appliqués aux temps passés dans les chambres. Le séjour dans toutes les autres pièces d'habitation est considéré comme une activité modérée.

2.2.2 Ingestion

Si les investigations menées sur un site montre l'existence d'un jardin potager sur un sol pollué par du radium, les doses efficaces annuelles dues à l'ingestion de produits récoltés dans ce jardin peuvent être calculées en fonction, d'une part de l'activité de radium et de ses descendants dans les produits, d'autre part des quantités de ces produits consommés annuellement. L'activité est estimée pour chaque type de légume ou fruit, à partir de l'activité de ces radionucléides dans le sol, en appliquant des coefficients de transfert sol-végétaux, ou, lorsque cela est possible, à l'aide des mesures d'activité du radium et de ses descendants dans les légumes cultivés.

Bien que plus délicat en raison des incertitudes sur les paramètres d'exposition, il est également possible d'estimer l'activité incorporée par inadvertance par un individu, en particulier si celui-ci ingère de la terre polluée par du radium ou encore s'il porte ses doigts à la bouche alors que ceux-ci avaient été contaminés par du radium, par exemple en frottant la main sur une surface ou un matériau qui présente une pollution en radium non fortement fixée sur son support.

Le calcul de la dose efficace engagée par ingestion (d'aliments ou involontaire) de radium 226 et de ses descendants à période longue, le plomb 210 et le polonium 210, prend en compte des coefficients de dose fixés par le code de la santé publique dont les valeurs sont fonction de l'âge de l'individu (tableau 4).

**Tableau 4 - Coefficients de dose pour le calcul
de la dose efficace liée à l'ingestion (Sv par Bq ingéré)**

	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po
Adulte	2,8.10 ⁻⁷	6,9.10 ⁻⁷	1,2.10 ⁻⁶
Enfant de 10 ans	8,0.10 ⁻⁷	1,9.10 ⁻⁶	2,6.10 ⁻⁶
Enfant de 3 ans*	7,9.10 ⁻⁷	2,9.10 ⁻⁶	6,6.10 ⁻⁶

* la réglementation ne fournit pas de valeurs pour les enfants de 3 ans ; les valeurs données ici ont été obtenues en faisant la moyenne des valeurs correspondant aux enfants de 1 à 2 ans et de 2 à 7 ans

2.3. Exposition au radon

L'activité volumique du radon dans l'air des bâtiments fluctue de manière importante selon les heures et les mois de l'année, en fonction de phénomènes météorologiques et du mode de vie des occupants (les valeurs observées la nuit sont généralement supérieures à celles de la journée, de même les valeurs observées en hiver sont plus élevées qu'en été). L'évaluation précise de l'exposition des individus au radon nécessite par conséquent de disposer de mesures sur de longues périodes de manière à intégrer ces fluctuations et permettre de calculer une activité moyenne de radon représentative à l'échelle de l'année.

Etant donné que seules des mesures de radon instantanées ou sur une courte durée sont réalisées au cours d'un diagnostic radiologique, il n'est pas envisageable de déterminer avec précision l'activité moyenne à l'échelle d'une année. Il s'agit seulement de fournir une estimation du niveau approximatif d'exposition des occupants et de le comparer au niveau moyen ambiant dans les bâtiments de la région considérée.

3. MESURE INDIVIDUELLE DE LA CONTAMINATION INTERNE

Après inhalation ou ingestion de radium-226, la quantité de radionucléide présente dans l'organisme peut être mesurée, soit par examen anthroporadiométrique, soit par analyse radiotoxicologique des excréta (urines ou selles). L'examen anthroporadiométrique est réalisé en laboratoire, en plaçant des détecteurs de rayonnements à proximité du corps. Cet examen permet d'évaluer la quantité de radium retenue dans l'organisme. L'analyse des excréta consiste, quant à elle, à déterminer la quantité de radium éliminée quotidiennement par l'organisme. Quel que soit le type d'examen réalisé, une estimation des doses efficaces reçues peut être réalisée à partir du résultat de la mesure et des données recueillies sur les conditions d'exposition de la personne.

Les doses efficaces minimales détectables dépendent de la voie d'incorporation (ingestion ou inhalation), de la limite de détection des analyses, du temps pendant lequel la personne a été exposée à la source de contamination et de son âge lors de cette exposition. En pratique, ce sont les analyses de selles qui permettent de détecter les plus faibles niveaux de contamination interne par du radium, suivies des analyses d'urines. Les examens anthroporadiométriques ont des seuils de détection nettement plus élevés et sont réservés à des cas de contamination particuliers ou plus importants que ceux attendus.

Le tableau 5 montre les doses efficaces annuelles minimales détectables pour un adulte séjournant depuis 10 ans dans un lieu pollué par du radium 226, compte tenu des limites de détection des analyses mises en œuvre. Les limites de détection considérées sont de 800 Bq de radium 226 pour la mesure anthroporadiométrique corps entier, de 20 mBq/l pour la mesure urinaire et de 10 mBq/échantillon dans les selles (valeurs IRSN).

Tableau 5 - Activités incorporées minimales détectables et doses efficaces minimales détectables selon la voie d'incorporation et l'examen pratiqué

Analyse	ingestion		inhalation	
	Activité ingérée	Dose efficace annuelle	Activité incorporée	Dose efficace annuelle
Urines	5 Bq/j	0,5 mSv	7 Bq/j	9 mSv
Selles	10 mBq/j	1 µSv	0,03 Bq/j	39 µSv
Anthroporadiométrie corps entier	43 Bq/j	4 mSv	30 Bq/j	38 mSv

L'interprétation de la mesure doit tenir compte du radium 226 naturellement présent dans l'organisme (charge corporelle de 1,3 Bq environ en moyenne), qui provient de l'alimentation.

Compte tenu des performances de ces méthodes d'analyses et de la relative lourdeur de leur mise en œuvre, les mesures individuelles de contamination interne ne sont réalisées qu'au cas par cas, et restent donc exceptionnelles.