

FICHE N°3

L'EXPOSITION RADIOLOGIQUE DES PERSONNES DU PUBLIC AUX STÉRILES MINIERES

évaluation dosimétrique de scénarii d'exposition

L'exploitation de mines d'uranium a conduit à l'existence, sur certains sites, de zones présentant une radioactivité dépassant celle attribuable au bruit de fond naturel. De telles situations sont rencontrées sur les sites miniers eux-mêmes ou leur pourtour, mais également dans un périmètre plus large du fait d'une part de la réutilisation de stériles¹ miniers et d'autre part du transfert par le réseau hydrographique de l'uranium et de la radioactivité rejetée par les sites miniers conduisant à leur accumulation dans les sédiments de lacs ou étangs situés en aval.

Selon leur localisation et les usages qui leur sont associés, l'existence de ces zones peut conduire à l'exposition de personnes du public. A partir des données disponibles et en se fondant sur la connaissance de situations ayant fait l'objet d'investigations, il est possible de définir des scénarii types d'exposition et d'évaluer les doses reçues correspondantes. Les calculs dosimétriques ainsi réalisés n'ont pas vocation à fournir une évaluation rendant fidèlement compte de chacune des situations rencontrées. Leur objectif est plutôt d'apprécier l'ordre de grandeur des doses reçues pour des scénarii d'exposition représentatifs de situations réelles.

Les scénarii types d'exposition sont fondés sur l'utilisation de stériles en tant que matériau de remblais. La teneur moyenne considérée en uranium des stériles est de 0,1 g/kg soit 100 ppm². La valeur de 100 ppm en uranium naturel correspond à une activité par kg en U-238 de 1 200 Bq/kg. Cette valeur correspond à la teneur maximale en uranium fixée par la procédure mise en place par COGEMA à partir de 1984 pour contrôler la cession des stériles.

Afin de tenir compte de réaménagement de zones situées à proximité d'usines de traitement du minerai ou de stockages sur lesquelles des résidus³ peuvent se trouver disséminés, le cas d'un mélange de stériles et de résidus a également été pris en compte en tant que variante possible pour l'un des scénarii étudiés.

1. PRINCIPALES VOIES D'EXPOSITION A CONSIDERER

Les principales voies d'exposition à considérer pour les situations étudiées sont :

- l'exposition externe au rayonnement émis par les radionucléides présents dans les matériaux issus de l'activité minière ;
- l'exposition interne par inhalation du radon contenu dans l'air dans des lieux confinés (celle-ci est jugée négligeable pour des expositions à l'air libre compte-tenu de la dilution dans l'atmosphère) ;
- une possible exposition interne par ingestion de terre ;

¹ Le terme de stériles désigne les roches excavées lors de l'extraction du minerai

² ppm : partie par million

³ Le terme résidus désigne les déchets résultant du traitement du minerai pour en extraire l'uranium

- l'inhalation de radionucléides consécutive à une remise en suspension de poussières a également été considérée. Cependant, les calculs montrent que les doses associées sont négligeables pour les taux d'empoussièrement correspondant aux situations retenues. Cette voie d'exposition n'a donc pas été retenue par la suite.

2. SCENARII D'EXPOSITION ETUDIÉS

En considérant les différents types d'activités humaines susceptibles d'être exercées au voisinage des anciens sites miniers d'uranium, quatre scénarii représentatifs des situations d'exposition les plus significatives ont été considérés :

- passage d'un piéton sur des chemins ayant été remblayés avec des stériles ;
- activités extérieures sur des terrains ayant été remblayés avec des stériles avec ajout d'un revêtement (stade de football, parking, cour d'école...) ;
- habitation dans des maisons construites sur des remblais constitués de stériles miniers ;
- conservation à domicile d'échantillons minéralogiques.

Les hypothèses retenues pour calculer les doses efficaces⁴ ajoutées par la radioactivité des stériles sont indiquées ci-après pour chacun de ces quatre scénarii.

2.1. Passages sur des chemins remblayés

La voie d'atteinte retenue dans ce scénario est une **exposition externe** due au sol remblayé et la dose reçue est simplement proportionnelle au temps passé. Le scénario retenu est celui d'un habitant d'un village effectuant chaque jour une marche d'une heure représentant un parcours de 4 km. Il est considéré qu'un quart du parcours, soit 1 km, est effectué sur des chemins remblayés avec des stériles présentant une teneur en uranium de 100 ppm. Le calcul conduit à une dose efficace par exposition externe de 0,045 mSv/an.

Dans la seconde hypothèse, il est considéré un jogger courant deux heures par semaine sur le même type de chemin. La dose efficace calculée est de 0,05 mSv/an.

A titre de comparaison, le débit de dose ambiant dans les régions granitiques hors de toute influence d'activité minière est en moyenne de 0,15 µSv/h. Ainsi, toute personne vivant dans ces régions reçoit chaque année par exposition externe une dose efficace de 1,3 mSv/an environ due à la radioactivité naturelle ambiante.

2.2. Activités extérieures sur des terrains remblayés

2.2.1. Paramètres des scénarii

Il est considéré le cas d'aires extérieures aménagées présentant une radioactivité liée à la présence des matériaux issus de l'activité minière. Deux paramètres principaux vont déterminer le niveau de dose reçu : le temps de présence sur ces aires, en lien direct avec leur usage, et l'existence ou non de revêtement de sol (bitume, terre végétale...).

⁴ La dose efficace est un indicateur de risque exprimé en sievert (Sv), calculée à partir de l'énergie délivrée par les rayonnements dans les différents tissus et organes en prenant en compte la radiosensibilité propre de ces derniers et la nature des rayonnements.

Les situations retenues sont les suivantes :

Type d'activité	Type de revêtement	Temps de présence (h/an)
Parking	10 cm d'enrobage bitume	50
Terrain de football	15 cm de terre	100
Cour d'école	10 cm d'enrobage bitume	350
	Aucun revêtement	350
Terrain de lotissement	10 cm d'enrobage bitume	800
	Aucun revêtement	800

2.2.2. Evaluations dosimétriques

- Scénario avec stériles et voie d'exposition par irradiation externe

Dans les cas où les terrains comportent un revêtement, la seule voie d'atteinte est une exposition externe.

Activités extérieures : Terrains avec revêtement	Dose efficace annuelle (mSv)
Terrains de jeux	0,01
Cour d'école	0,05
Terrain de lotissement	0,12
Parking	0,01

- Scénario avec stériles et voie d'exposition externe et interne (ingestion)

Dans le cas de la cour d'école et du terrain de lotissement sans revêtement, les voies d'atteinte retenues sont l'exposition externe et l'exposition interne par ingestion de terre. Dans ce deuxième cas, le scénario porte sur les enfants de 3 à 7 ans. Les quantités de terre ingérées⁵ retenues sont de 2 g dans le cas de la cour d'école et de 10 g dans le cas du terrain de lotissement.

Activités extérieures : Terrains sans revêtement	Dose efficace annuelle (mSv)
Cour d'école	0,2
Terrain de lotissement	0,5

La dose efficace la plus élevée (0,5 mSv/an) correspond au cas du lotissement sans revêtement. La dose par ingestion est alors égale à 0,1 mSv/an, celle due à l'exposition externe étant de 0,4mSv/an.

⁵ Valeurs issues du Guide méthodologique de gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives (2001) www.irsn.org

▪ Scénario avec résidus et voie d'exposition externe et interne (ingestion)

Dans cette variante, il est considéré que des résidus (contenant 1,6 Bq /g d'uranium et 32 Bq/g pour tous ses descendants) sont mélangés en faible quantité aux remblais ; l'enfant de 3-5 ans du lotissement est ainsi supposé en ingérer 1 g sur le total des 10 g de sol ingérés annuellement. La dose efficace totale correspondante est alors de 0,7 mSv/an.

2.3. Fréquentation de bâtiments construits sur des stériles

Les voies d'atteinte retenues sont l'exposition externe due aux stériles contenus dans le sol et l'exposition interne par inhalation de l'air (gaz radon).

2.3.1. Exposition externe

Deux configurations sont retenues : maison avec et sans sous-sol. Les paramètres pris en compte pour les calculs sont les suivants :

- dalle en béton de 15 cm d'épaisseur ;
- mur du sous-sol en béton de 15 cm d'épaisseur ;
- temps de séjour dans la maison : 7 000 h par an dont 200 h dans le sous-sol (pour des activités de bricolage dans un atelier par exemple) le cas échéant.

En l'absence de revêtement, le débit de dose externe au dessus de remblais présentant de telles teneurs est de l'ordre de 0,5 µSv/h. Une dalle de béton de 15 cm d'épaisseur réduit ce débit à une valeur de 0,06 µSv/h.

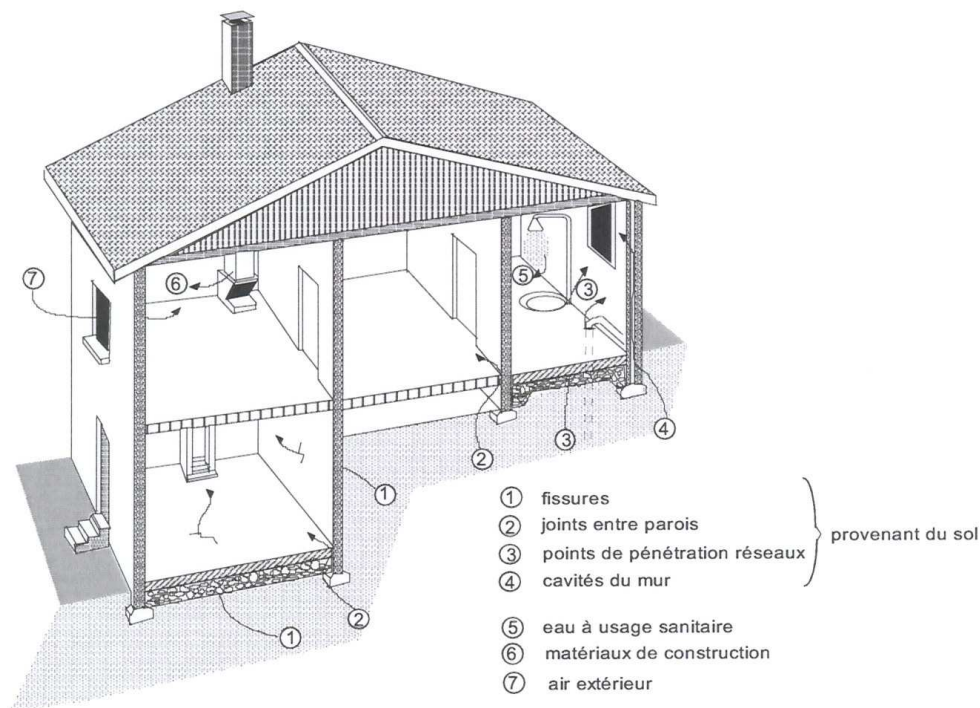
Le tableau suivant présente les doses dues à l'exposition externe, calculées selon qu'il y ait ou non un sous-sol.

Type d'habitation	Dose efficace annuelle hors radon (mSv)
Maison sans sous-sol	0,40
Maison avec sous-sol	0,45

2.3.2. Exposition au radon

Le sol est en général la cause principale de la présence de radon dans l'air intérieur des bâtiments. Dans une moindre mesure, la présence de radon dans les locaux habités peut cependant avoir d'autres origines : l'air extérieur, les matériaux de construction, l'eau à usage domestique.

L'entrée dans les bâtiments du radon présent dans le sol résulte de nombreux paramètres (concentration dans le sol, perméabilité et humidité du sol, présence de fissures ou de fractures dans la roche sous-jacente) et notamment des caractéristiques propres du bâtiment (procédé de construction, fissuration de la surface en contact avec le sol, système de ventilation...). Les niveaux de concentration du radon dans les bâtiments dépendent *in fine* des modes de vie des habitants et des conditions de renouvellement d'air dans les pièces.



Voies d'entrée du radon dans un bâtiment

Prédire les concentrations de radon dans un bâtiment construit sur des stériles est un exercice très complexe compte tenu du nombre et de la sensibilité des paramètres en jeu (structure du bâtiment, nature de l'interface avec le sol, taux de renouvellement de l'air intérieur, facteurs météorologiques...). **Sur la base des données disponibles et de calculs de modélisation pour des configurations types, l'IRSN estime qu'il est vraisemblable que des concentrations supérieures à 1 000 Bq/m³, voire à 10 000 Bq/m³ dans des cas défavorables, soient atteintes dans des bâtiments construits sur des terrains remblayés par des stériles ou contenant des résidus miniers.** Ce sont des concentrations de ce niveau qui ont été mesurées notamment dans le local d'une scierie de la commune de Lavoine (Allier), située à proximité du site minier des Bois-Noirs Limouzat et construite sur une aire aménagée avec des stériles.

Les doses calculées typiquement pour une concentration de 1 000 Bq/m³, un taux d'occupation des locaux de 80% tout au long de l'année (soit 7 000 heures par an) et un facteur d'équilibre radioactif de 0,4 entre le radon et ses descendants à vie courte sont de l'ordre de 17 mSv par an.

2.3.3. *Éléments de comparaison (expositions radon au niveau national)*

Le tableau ci-dessous fournit quelques éléments de comparaison issus des mesures réalisées dans l'habitat en France.

12641 mesures réalisées dans l'habitat en France : 1 à 4 964 Bq/m³

Concentration moyenne (moyenne arithmétique) de radon :

- France : 90 Bq/m³

- Départements granitiques (Creuse, Lozère, Corse du Sud) : 260 Bq/m³

Concentration de radon supérieure à 1 000 Bq/m³ :

- France : 0,5% des maisons

- Départements granitiques : 3 à 5% des maisons

Le bilan des mesures réalisées à l'échelle nationale montre que des valeurs supérieures à 1 000 Bq/m³ peuvent être mesurées en pourcentage significatif dans l'habitat des régions à sous-sol granitique en dehors de tout contexte minier. Lorsque des maisons construites sur les anciens sites miniers présentent des fortes valeurs de concentration de radon il est difficile, sans réaliser des investigations poussées, de déterminer la part de la source de radon due à l'utilisation éventuelle de matériaux issus de l'activité minière, de celle d'origine naturelle.

2.4. Conservation à domicile d'échantillons minéralogiques

Certaines situations d'exposition très particulières, ne reflétant pas l'exposition de la population en général, peuvent résulter de comportements individuels. Un exemple de ce type de comportement peut être le désir de constituer une collection minéralogique pouvant conduire à conserver des échantillons de minerai d'uranium à domicile. Une hypothèse d'un tel scénario serait la conservation à domicile d'un bloc de minerai de 5 kg (densité 2,5) d'une activité de 1,5 MBq⁶, soit un taux d'environ 2% d'uranium naturel, valeur élevée pour un minerai français. Sur la base d'un temps de présence journalier de 12h à une distance de 1 m de l'échantillon, l'ordre de grandeur du débit de dose sera de 0,4 µSv/h et l'ordre de grandeur de la dose efficace sera de 1,75 mSv/an.

3. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Ces évaluations d'exposition ont été réalisées à partir d'une grandeur dosimétrique (dose efficace) représentative de l'impact sanitaire selon le système international de protection de l'homme contre les rayonnements ionisants. Elles ont permis de hiérarchiser des scénarii-types d'exposition des personnes du public aux stériles miniers. Les quatre scénarii étudiés et les paramètres utilisés pour les calculs permettent de couvrir un ensemble de situations représentatives de la diversité des situations rencontrées autour des sites miniers. Les résultats des évaluations correspondantes donnent des ordres de grandeur des niveaux d'exposition et l'importance respective des voies d'exposition. Ils permettent en particulier d'identifier les situations devant nécessiter une attention particulière.

Les doses efficaces calculées dans les différents scénarii types peuvent être mises en perspective avec celles reçues dans différentes situations (expositions professionnelle, médicale, naturelle, accidentelle) présentées dans l'annexe 1.

Les différents scénarii précédemment analysés peuvent être classés par ordre décroissant en fonction de l'importance de leur impact dosimétrique sur la population.

- Les bâtiments construits sur des stériles sont les situations pour lesquelles l'impact est potentiellement le plus important. L'exposition externe ajoutée conduit à des doses individuelles estimées de 0,5 mSv/an à plus de 1 mSv/an selon la teneur des remblais. Par ailleurs, des concentrations de radon supérieures à 1 000 Bq/m³, et pouvant dans certains cas approcher les 10 000 Bq/m³, sont susceptibles d'être observées dans certaines pièces de maisons construites de plain-pied ou dans les sous-sols, les stériles miniers constituant une source de radon qui s'ajoute à celles naturellement présentes sur les terrains granitiques. Les doses reçues par les occupants de ces maisons peuvent dépasser plusieurs dizaines de mSv/an. Lorsque de telles concentrations sont observées, dépassant la valeur de référence fixée pour les lieux ouverts au public des actions pour réduire les concentrations de radon dans ces maisons devraient être entreprises.
- L'usage impliquant la fréquentation intense de zones remblayés par des stériles miniers à l'extérieur des bâtiments constitue un second type de problématique. Dans différents lieux tels qu'une cour d'école ou une place de village sans

⁶ Cet exemple est un cas réel qui a conduit à la prise en charge de ce bloc de minerai dans un centre de stockage pour les déchets radioactifs à vie longue.

revêtement de sol, des personnes et en particulier des enfants, sont susceptibles d'être exposées à 0,1-0,5 mSv par an. Dans tous les cas, les doses reçues se situent en dessous des limites de dose fixées pour le public par le Code de la Santé Publique (1 mSv/an). De plus, il n'est pas exclu que des stériles ou des matériaux contenant des teneurs supérieures à la valeur de 100 ppm utilisée dans les calculs (blocs de résidus par exemple) puissent exister localement et conduire alors à des doses individuelles approchant 1mSv/an. Des investigations pour détecter de telles situations sont par conséquent recommandées.

- La conservation à domicile d'échantillons minéralogiques d'uranium est une situation d'exposition particulière qui doit être analysée au cas par cas et conduire le cas échéant à un enlèvement des échantillons par les services compétents. En effet, selon la teneur en uranium du minerai et les conditions d'exposition la dose reçue peut approcher, voire dépasser la limite de dose réglementaire fixée pour les personnes du public (1 mSv/an).
- Les autres situations ayant conduit à l'usage de remblais issus de stériles miniers dans des zones peu fréquentées (parking, chemin...) conduisent à un impact dosimétrique très faible, de l'ordre de quelques centièmes de mSv/an au maximum. Aucune action particulière n'est *a priori* nécessaire.

L'ensemble de ces évaluations dosimétriques ont été réalisées à partir d'une concentration d'uranium dans les stériles de 100 ppm. Pour des concentrations plus élevées en uranium dans les stériles l'ordre de grandeur des doses reçues par les populations sera proportionnel à cette teneur en uranium dans les stériles.

Enfin, ces évaluations dosimétriques sont une modélisation de l'impact radiologique sur des groupes de population. Celles-ci ne peuvent être appliquées sans précaution à une situation particulière ou à un individu donné.

ANNEXE 1

Doses efficaces reçues dans différentes situations d'exposition : professionnelle, médicale, naturelle

*: la limite d'exposition de la population est annuelle et s'applique aux doses ajoutées à l'irradiation naturelle du fait des activités humaines utilisant des matières radioactives ou des rayonnements ionisants

** : la dose associée aux tirs nucléaires a varié au cours du temps. A l'apogée des essais en 1963 la valeur estimée était de 0,3 mSv/an, elle est aujourd'hui de 0,01 mSv/an

