



GUIDE PRATIQUE DE LA MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ PAR LES CITOYENS

Comité directeur pour la gestion post-accidentelle
d'un accident nucléaire (CODIRPA)



Sommaire

01 INTRODUCTION

5

02 FICHES MESURE

7

Fiche 1	Les types de rayonnements ionisants et leur mesure	8
Fiche 2	Les unités en radioprotection	9
Fiche 3	Quel appareil choisir pour quelle mesure ?	11
Fiche 4	Comment réaliser une mesure de bonne qualité ?	15
Fiche 5	Mesurer la radioactivité ambiante	18
Fiche 6	Mesurer son exposition externe	20
Fiche 7	Mesurer la radioactivité dans les aliments	22
Fiche 8	Mesurer la contamination des sols, des cendres et des poussières	24
Fiche 9	Mesurer la radioactivité d'une surface	26
Fiche 10	Mesurer la radioactivité dans le corps humain	28
Fiche 11	Mesurer la radioactivité dans l'eau	30

03 ANNEXES

33

Annexe 1	Qu'est-ce que la radioactivité ?	34
Annexe 2	La spectrométrie	36
Annexe 3	Les sites de partage des mesures de radioactivité et les laboratoires agréés	39
Annexe 4	Les fiches-types de prélèvement ou de mesure	41
Annexe 5	La surveillance de l'environnement	44
Annexe 6	L'exposition à la radioactivité en France	46
Annexe 7	Les effets sur la santé	49
Annexe 8	La nourriture et l'eau	52

04 GLOSSAIRE

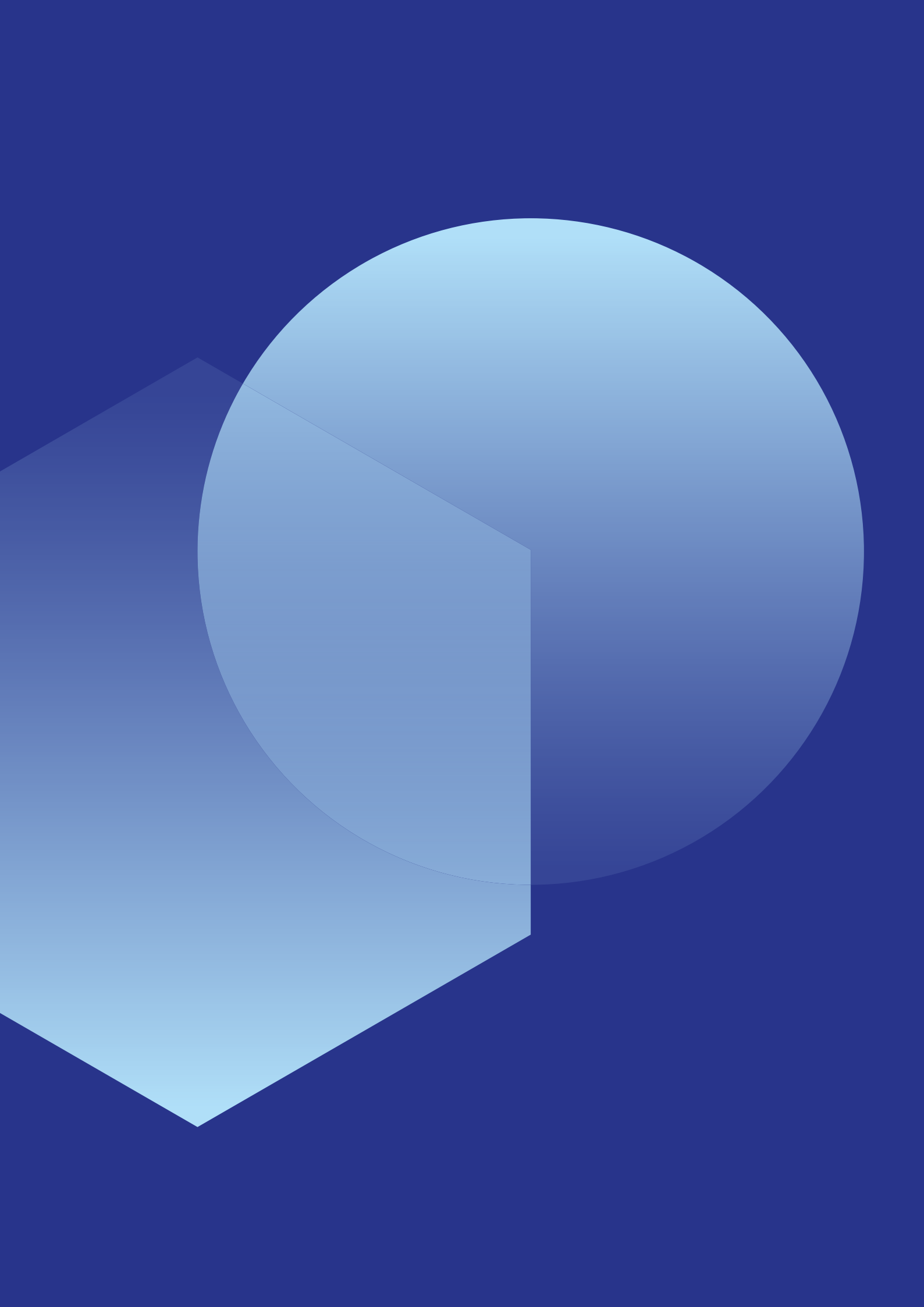
55

05 ACRONYMES

58

06 LES LIENS UTILES

59





01 – Introduction

La radioactivité est un phénomène physique imperceptible et sa mesure est le seul moyen de la « matérialiser » (voir l'**annexe 1** « Qu'est-ce que la radioactivité ? »). La mesure de la radioactivité demande des outils spécifiques. Certains types de mesure de la radioactivité sont accessibles aux citoyens, avec des outils simples. La réalisation de mesures de la radioactivité peut ainsi permettre aux citoyens de surveiller leur environnement, au même titre que la surveillance de la qualité de l'air par exemple. La mesure citoyenne vient en complément des informations fournies par la surveillance institutionnelle, qui a recours à des outils plus sophistiqués et plus précis.

La radioactivité est présente naturellement dans notre environnement. Elle est essentiellement d'origine cosmique ou tellurique (voir l'**annexe 6** « La surveillance de l'environnement »). Depuis le début du XX^e siècle, une radioactivité dite artificielle s'ajoute à la radioactivité naturelle. Cette radioactivité artificielle a pour origine certaines activités humaines comme les activités médicales, la recherche ou des applications militaires et industrielles. Certaines de ces activités peuvent être à l'origine de situations accidentelles et induire une contamination supplémentaire de l'environnement.

À la suite d'un accident nucléaire, les radionucléides rejetés se dispersent dans l'air et dans les milieux naturels puis se déposent en contaminant tous les milieux : air, eaux, sols, espèces vivantes. Cette contamination touche durablement la vie quotidienne de la population qui vit à proximité du lieu de l'accident. En situation post-accidentelle, la mesure de la radioactivité autour de soi permet alors de mieux savoir où elle se trouve, comment et en quelles quantités elle se répartit dans l'espace, comment elle évolue dans le temps. Cette connaissance de la répartition de la radioactivité peut permettre d'adapter son compor-

tement en situation post-accidentelle et ainsi réduire son exposition au quotidien. Cette mesure citoyenne vient en plus des mesures réalisées par les autorités et permet à chacun de Connaître les niveaux de radioactivité dans son environnement proche. Ainsi, depuis les accidents de Tchernobyl et de Fukushima, la mesure de la radioactivité par les habitants des territoires contaminés leur permet de limiter leur exposition en identifiant les lieux où elle s'est le plus concentrée. Ils acquièrent ainsi une culture pratique de radioprotection, qu'ils peuvent transmettre ensuite aux autres habitants.

Ce guide sur la « mesure de la radioactivité par les citoyens » s'adresse particulièrement aux personnes qui souhaiteraient s'impliquer dans ce type de démarche métrologique et éducative. Il apporte des réponses pratiques aux premières questions qui se posent : que peut-on ou ne peut-on pas mesurer par soi-même ? Avec quel(s) appareil(s) ? Comment faire un prélèvement ? Comment faire une mesure ? Le guide ne prétend pas être exhaustif ; il ne promet pas non plus de réaliser des mesures de haute précision, encore moins de remplacer les méthodes et les outils qui sont utilisés par les experts en situation normale ou après un accident radiologique. Il permet en revanche d'aborder la mesure de la radioactivité de façon simple et pratique en donnant des conseils sur l'utilisation des appareils disponibles dans le commerce à des prix accessibles au grand public. Il donne également des clés pour l'interprétation des résultats de mesures de la radioactivité.

Ce guide comporte 11 fiches, chacune étant consacrée à la mesure de la radioactivité dans une matrice ou dans un milieu spécifique. Chaque fiche décrit l'objectif de la mesure, les appareils disponibles, ce qu'on ne peut pas mesurer, le format des résultats et les grandeurs utilisées, des ordres de grandeur observables et un témoignage d'utilisateur.

Certains types de mesure sont plus faciles à réaliser que d'autres. Ainsi, la mesure du débit de dose ambiant (voir la **fiche 5** « Mesurer la radioactivité ambiante ») est de loin la plus accessible au grand public, avec des appareils simples et relativement peu onéreux. En revanche, d'autres types de mesures ne sont pratiquement pas réalisables par le grand public. Il s'agit par exemple de la mesure des radionucléides émettant des rayonnements alpha (par exemple l'uranium) ou bêta (strontium 90 par exemple) (voir la **fiche 1** « Les types de rayonnements ionisants et leur mesure »), de la mesure de la radioactivité dans le corps humain, ou encore la mesure de la radioactivité dans l'eau. Ces mesures ne sont réalisables que par des laboratoires, disposant de matériels spécialisés, souvent onéreux. Une liste des laboratoires institutionnels et associatifs agréés pour ces types de mesure est donnée à la fin du guide. Le tableau ci-dessous classe les différents types de mesure abordés dans ce guide par difficulté croissante.

Huit annexes permettront d'approfondir les connaissances autour de différents sujets abordés dans les fiches du guide. Un glossaire des termes techniques et des liens utiles sont également inclus. Le cas spécifique de la mesure du radon, gaz radioactif naturel issu de la désintégration de l'uranium, est abordé dans l'**annexe 6** « La surveillance de l'environnement ».

Ce guide a été élaboré par le groupe de travail pluraliste « culture de sécurité et de radioprotection » du Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire (Codirpa). Il complète d'autres documents déjà produits par le Codirpa, notamment le « Guide pratique pour les habitants d'un territoire contaminé par un accident nucléaire » et le guide sur les « Conséquences sanitaires d'un accident nucléaire : questions-réponses pour les professionnels de santé ».

L'ensemble de ces documents se trouve sur le site Internet www.post-accident-nucleaire.fr.

Comparatif des différents types de mesure

Type de mesure	Difficulté	Investissement	N° page
Mesurer la radioactivité ambiante	+	€€€	18
Mesurer son exposition externe	+	€€	20
Mesurer la radioactivité dans les aliments	++	€€€€€	22
Mesurer la radioactivité dans les sols	++	€€€€€	24
Mesurer la radioactivité des surfaces	+++	€€€€	26
Mesurer la radioactivité dans le corps humain	++++	€€€€€€	28
Mesurer la radioactivité dans l'eau	++++	€€€€€€	30

02

LES FICHES MESURE

Les types de rayonnements ionisants et leur mesure

Les rayonnements ionisants sont une émission d'énergie ou d'un faisceau de particules émis lors de la désintégration d'un radionucléide. Les plus fréquents sont : les rayonnements alpha, bêta, gamma ou X, ces deux derniers étant de même nature électromagnétique. Chacun de ces trois types de rayonnement a des caractéristiques différentes. Ils peuvent transformer la matière (atomes, molécules) qu'ils traversent (voir l'**annexe 1** « Qu'est-ce que la radioactivité ? »). Il existe un quatrième type de rayonnement ionisant, il s'agit des neutrons, produits lors de la réaction de fission. Cependant, les neutrons sont rares dans l'environnement et très difficiles à mesurer. Ils sont donc exclus du champ de ce guide.

Les caractéristiques de ces trois types de rayonnements ionisants expliquent pourquoi ils sont plus ou moins faciles à détecter et à mesurer. Le principe de base de la mesure des rayonnements ionisants est toujours le même : il s'agit de transformer l'énergie des rayonnements ionisants dans un matériau détecteur en une quantité mesurable, le plus souvent une impulsion lumineuse ou électrique. Ces impulsions sont ensuite comptées et converties en unités de radioactivité ou en grandeurs d'exposition (voir la **fiche 4** « Les grandeurs en radioprotection »), selon l'appareil utilisé.

Il est possible de détecter les rayonnements alpha, bêta et gamma en utilisant un détecteur à gaz (compteur Geiger-Müller, chambre d'ionisation ou compteur proportionnel). Le principe de ces compteurs est d'utiliser une chambre contenant un gaz neutre (généralement de l'hélium ou du néon) dans laquelle est appliqué un champ électrique. Le passage d'un rayonnement ionisant provoque une décharge électrique, qui est mesurée. Pour pouvoir mesurer les principaux types de rayonnements (alpha, bêta et gamma) avec un compteur Geiger-Müller, il faut que la fenêtre de mesure soit constituée d'un matériau très fin pour laisser passer tous les types de rayonnements ionisants, même les plus faciles à arrêter. Il s'agit en général de mica, de silicium ou de mylar. Ce type de compteur, s'il permet de détecter les trois principaux types de rayonnements ionisants, ne permet que difficilement de faire la distinction entre les rayonnements alpha, bêta ou gamma.

LA MESURE DU RAYONNEMENT GAMMA

Pour mesurer spécifiquement un type de rayonnement ionisant, on utilisera des matériaux de détection spécifiques. Ainsi, le rayonnement gamma qui traverse facilement de nombreux matériaux est le plus facile à détecter. Pour cela, on utilise en général des cristaux

de germanium de haute pureté (HPGe) ou d'iodure de sodium (NaI), qui permettent de transformer l'énergie du rayonnement gamma en un signal électrique, dont l'analyse permet d'identifier le radionucléide à l'origine du rayonnement (voir l'**annexe 2** « La spectrométrie »). Les détecteurs de rayonnement gamma utilisés sur le terrain sont en général équipés d'un cristal d'iodure de sodium, plus facile à manipuler. La mesure des rayonnements gamma est la plus facilement accessible au public.

LA MESURE DES RAYONNEMENTS ALPHA ET BÊTA

Le rayonnement bêta et surtout le rayonnement alpha sont plus difficiles à mesurer que les rayonnements gamma, du fait que ces rayonnements sont arrêtés plus ou moins rapidement par l'air ou par les matériaux rencontrés (voir l'**annexe 1** « Qu'est-ce que la radioactivité ? »). Il faut donc utiliser des appareils spécifiques, adaptés à la faible pénétration de ces rayonnements dans la matière. De ce fait, la mesure des rayonnements alpha et bêta ne peut être réalisée qu'avec des appareils professionnels. Sur le terrain, il est préférable d'utiliser des appareils comportant soit un détecteur à gaz (de type Geiger-Müller, voir ci-dessus), soit des détecteurs comportant un scintillateur en plastique.

La détection des radionucléides émetteurs de rayonnement alpha ou bêta doit donc se faire préférentiellement en laboratoire, où une préparation de l'échantillon est possible. Une méthode souvent utilisée en laboratoire est la scintillation liquide. Il s'agit de mettre l'échantillon sous forme liquide puis de le mélanger à un liquide scintillant qui va transformer le rayonnement alpha ou bêta en lumière. Cette lumière est alors captée par un photomultiplicateur. L'avantage de cette méthode est que le fait de mélanger l'échantillon sous forme liquide au produit scintillant donne des conditions favorables à la mesure des rayonnements alpha ou bêta. Pour les rayonnements alpha, ils ne peuvent également être mesurés de façon précise qu'après un traitement de l'échantillon et une mesure en chambre à l'aide d'un gaz sensible aux particules alpha ou d'un détecteur silicium. Les inconvénients sont que ces méthodes de mesure nécessitent une préparation de l'échantillon en laboratoire et qu'elles ne sont pas adaptées aux mesures de terrain.

D'une façon générale, il est nécessaire d'avoir une idée de ce que l'on souhaite mesurer et du type de rayonnement rencontré avant de s'équiper (voir la **fiche 3** « Quel appareil pour quelle mesure ? »).

Les unités en radioprotection

Avant de commencer à mesurer, il est essentiel de comprendre ce qu'on va mesurer, et dans quelles unités de mesure les résultats sont exprimés. Il existe trois grandeurs utilisées en radioprotection, qui chacune couvre un aspect différent.

| LE BECQUEREL (BQ)

Le becquerel est l'unité de désintégration radioactive, nommé en hommage à Henri Becquerel, découvreur du phénomène de la radioactivité. Un becquerel est égal à une désintégration radioactive par seconde, quel que soit le rayonnement émis au moment de la désintégration. C'est une grandeur physique mesurable directement.

Les appareils qui mesurent le nombre de rayonnements issus de la désintégration d'atomes radioactifs donnent un résultat en coups (ou chocs) par seconde (CPS). Il s'agit d'une mesure directe de la radioactivité, mais difficilement utilisable pour quantifier une exposition. Certains appareils peuvent également donner un résultat en Bq, grâce à un étalonnage spécifique. En effet, la conversion des CPS en Bq nécessite de prendre en compte l'efficacité du détecteur. On peut alors rapporter le nombre de Bq mesuré à un volume de liquide ou à une masse de matière. On parle alors d'activité volumique en Bq par litre (Bq/L) ou d'activité massique en Bq par kilogramme (Bq/kg).

| LE GRAY (GY)

Le gray (Gy) est l'unité qui mesure la quantité d'énergie déposée dans la matière à la suite d'une exposition à des rayonnements ionisants. Une dose de 1 gray est égale à une énergie de 1 joule déposée dans 1 kg de matière. La dose en gray (Gy) correspond donc à des joules par kilogramme (J/kg) dans le système international d'unités. Il a été nommé ainsi en hommage à Louis Harnold Gray, considéré comme le pionnier de l'étude des effets des rayonnements ionisants sur les êtres vivants.

Cette quantité est une grandeur physique mesurable. Certains appareils de laboratoire permettent d'accéder directement à cette mesure de l'énergie déposée dans un volume cible.

Les appareils donnent fréquemment le résultat en Gy par unité de temps, en gray par minute par exemple. On parle alors de débit de dose.

Le Gy n'est pas utilisable directement pour évaluer son exposition. En effet, il ne tient pas compte de certains paramètres, comme la dangerosité du rayonnement.

| LE SIEVERT (SV)

C'est l'unité d'évaluation de la dangerosité du rayonnement. C'est une grandeur qui n'est pas mesurable, mais qui est calculée à partir de l'énergie déposée dans un organe, donc à partir de la dose exprimée en gray. Cette grandeur tient compte de la quantité d'énergie déposée, de la nature du rayonnement (alpha, bêta ou gamma, avec le facteur de pondération du rayonnement, w_R) et de la sensibilité aux rayonnements ionisants de l'organe touché (à l'aide des facteurs de pondération tissulaire w_T). En effet, pour une même dose absorbée (en Gy), les effets biologiques potentiels sur la matière vivante exposée dépendent de la nature du rayonnement, de son énergie et du temps d'exposition. De plus, les tissus vivants ou organes n'ont pas la même sensibilité vis-à-vis des rayonnements. Le sievert est donc une évaluation du risque de développer une pathologie (un cancer en particulier) due à l'exposition aux rayonnements ionisants. On parle de dose efficace, qui est au cœur du système de radioprotection. Cette unité a été nommée ainsi en hommage à Rolf Maximilian Sievert, fondateur de la commission internationale de protection contre les rayonnements ionisants (la CIPR) qui est à l'origine du système actuel de radioprotection.

Beaucoup d'appareils de mesure des rayonnements ionisants donnent un résultat en millisievert ou en microsievert.

On parle alors d'équivalent de dose, exprimé dans la même unité. La différence est que l'appareil convertit automatiquement, en fonction de sa calibration et de coefficients de conversion, la quantité de rayonnements ionisants mesurés en un équivalent de la dose efficace, d'où ce terme d'équivalent de dose. Dans la grande majorité des cas, on utilise des sous-multiples de sievert pour exprimer cette mesure du risque : millisievert (mSv), microsievert (μ Sv) ou nanosievert (nSv) ce qui correspond aux niveaux d'exposition habituellement rencontrés (voir figure 2 ci-dessous). De la même façon que précédemment, si le résultat est donné par unité de temps (μ Sv/h, mSv/h), alors on parle de débit d'équivalent de dose.

Avertissement

Pour les rayonnements gamma et X, 1 Gy est équivalent à 1 Sv. Par conséquent, et dans le but de simplifier la lecture de ce guide, les termes d'« équivalent de dose » ou de « débit d'équivalent de dose » ne seront pas utilisés de façon systématique. Ils sont alors remplacés par les termes de « dose » ou de « débit de dose ».

Figure 1. Une représentation de ces trois grandeurs en image. Si la source radioactive est comparée à un pommier...

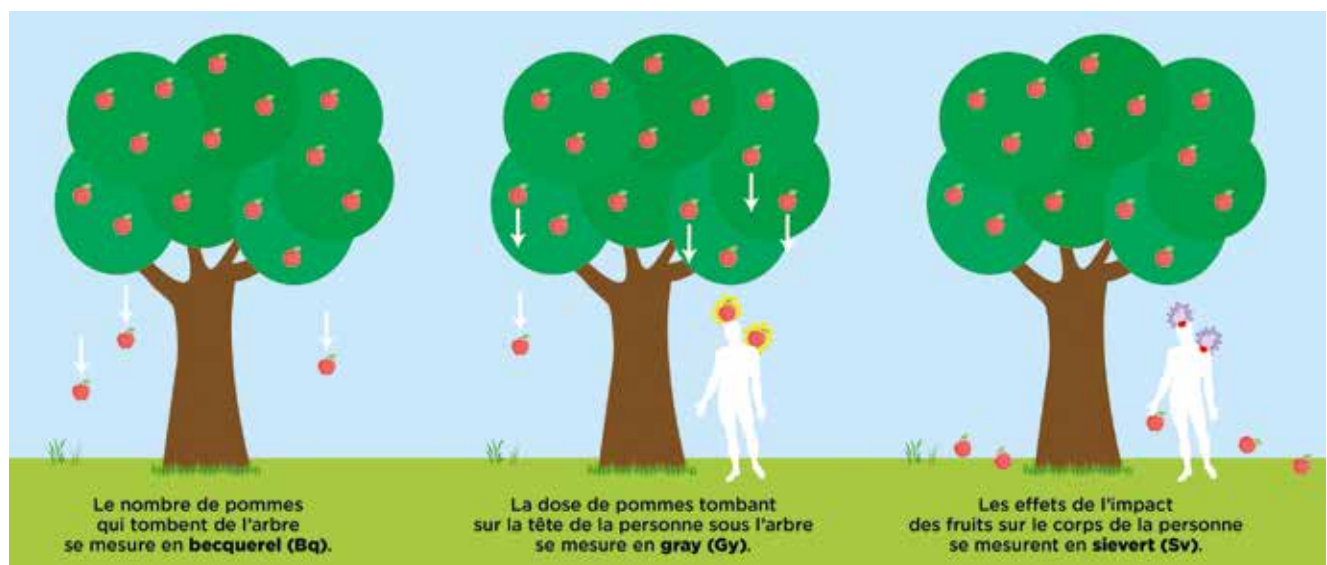
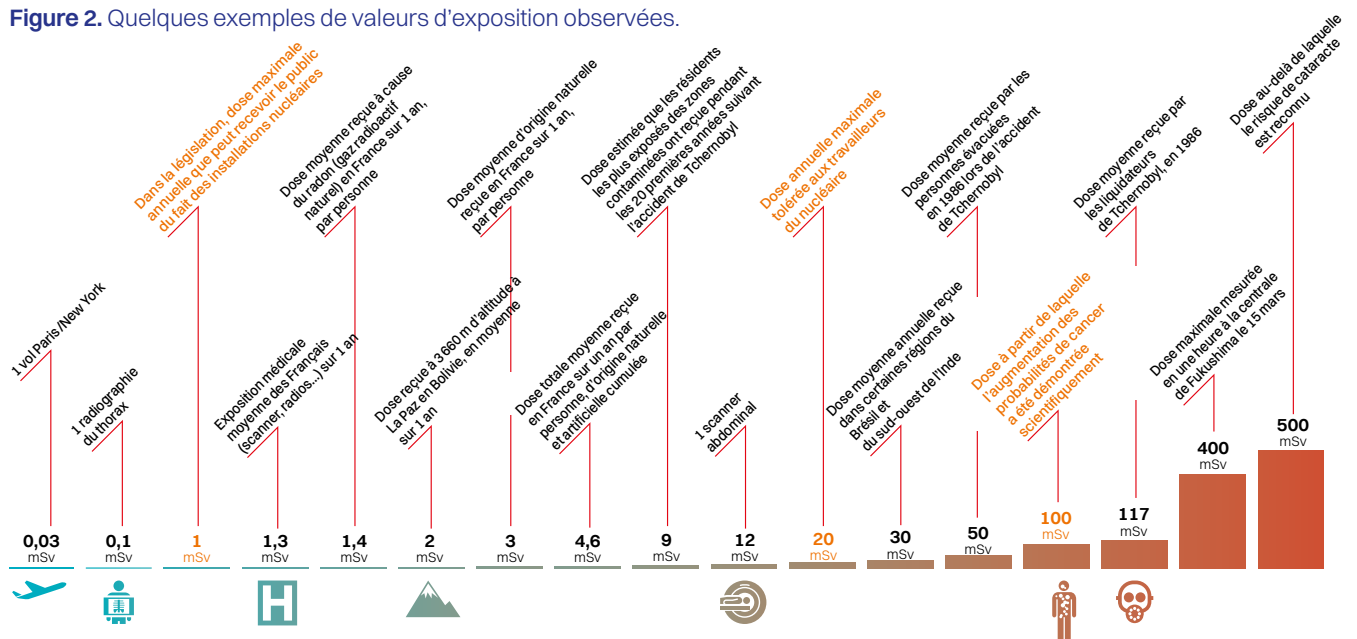


Figure 2. Quelques exemples de valeurs d'exposition observées.



Quel appareil choisir pour quelle mesure ?

La radioactivité est naturellement présente partout dans notre environnement : dans les sols, dans l'air, dans notre alimentation et dans tous les êtres vivants. Ce « bruit de fond radiologique » présente peu de danger pour la santé humaine en situation normale, à l'exception de certaines situations particulières où la concentration de gaz radon est forte (voir l'**annexe 6** : « L'exposition à la radioactivité en France »). La mesure de la radioactivité permet de mettre en évidence un phénomène physique invisible et d'estimer le risque encouru dans la situation observée. Ainsi, à la suite d'un accident nucléaire, la mesure de la radioactivité par les habitants présente un intérêt majeur. Elle permet d'identifier des zones de concentration de la radioactivité, mais aussi d'acquérir les connaissances nécessaires à sa propre protection en adoptant les bons comportements. Le fait de mesurer et de comprendre ce que signifient les résultats de mesures obtenus, par exemple en les comparant à d'autres résultats ou à des niveaux de référence, permet d'être partie prenante de sa propre radioprotection de façon individuelle ou collective, dans le dialogue avec les autorités, par exemple sur l'efficacité des actions de protection mises en place.

La mesure de la radioactivité nécessite un appareillage spécifique qui doit être adapté au contexte de la mesure. Le type et la forme du détecteur à retenir dépendent donc de la nature du rayonnement, de ce que l'on cherche à mesurer et de l'objectif de la mesure.

Cette fiche donne des clés pour choisir le type d'appareil de mesure le plus adapté à la mesure qu'on souhaite réaliser. Ce sont surtout des appareils de terrain, faciles à manipuler par le grand public. La mesure du radon ne peut se faire qu'à l'aide de détecteurs spécifiques. Elle n'est donc pas abordée ici, mais dans l'**annexe 6** : L'exposition à la radioactivité en France. De même, les dosimètres servant à mesurer l'exposition d'une personne ne sont pas abordés ici : voir la **fiche 6** « Mesurer son exposition externe ».

LES TECHNOLOGIES DE DÉTECTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Il existe plusieurs technologies servant à mesurer la radioactivité. Chaque technologie a des capacités différentes de détection des rayonnements, en fonction de sa nature et de sa géométrie. Ces différentes technologies de capteurs peuvent donc être adaptées à un type de mesure spécifique et donc à un type d'appareil de mesure.

Les tubes Geiger-Müller

Le type de capteur le plus courant dans les appareils grand public est le tube Geiger-Müller, qui est l'une des technologies de détecteur à gaz. Il contient un gaz à basse pression qui devient conducteur quand il est traversé par des rayonnements ionisants. Les impulsions électriques qui en résultent permettent de quantifier ces rayonnements. Les tubes Geiger-Müller peuvent détecter les rayonnements gamma et bêta (et alpha pour certains modèles), mais ne peuvent pas faire la distinction entre ces rayonnements.

Les scintillateurs solides

Les scintillateurs solides sont des cristaux de composés organiques ou minéraux ou des plastiques ayant pour propriété d'émettre des éclairs lumineux quand ils sont traversés par des rayonnements ionisants. Ces flashes lumineux sont transformés en impulsions électriques, proportionnelles à l'énergie du rayonnement ionisant détecté. Les scintillateurs sont sensibles aux rayonnements gamma mais il en existe qui sont sensibles également aux rayonnements alpha et bêta.

Les diodes

Les diodes sont des semi-conducteurs qui produisent un faible courant électrique quand elles sont traversées par des rayonnements ionisants. Ces impulsions électriques amplifiées peuvent ensuite être mesurées et comptées. Les diodes peuvent détecter les rayonnements alpha, bêta et gamma.

LES TYPES D'APPAREILS DISPONIBLES

Chaque type d'appareil est adapté à un type de mesure par sa forme et par la technologie de détection des rayonnements ionisants. Ainsi, deux appareils utilisant la même technologie de détection peuvent avoir une capacité de détection différente. Il est donc important de savoir ce que l'on souhaite mesurer avant de s'équiper d'un appareil de mesure.

Les radiamètres

Les radiamètres (ou débitmètres) mesurent des débits de doses instantanés, exprimés généralement en millisievert par heure (mSv/h) ou microsievert par heure (µSv/h) (voir la **fiche 4** « Les grandeurs en radioprotection »). Ces appareils utilisent comme capteurs en général des tubes Geiger-Müller, des diodes au silicium ou des scintillateurs. On les utilise pour mesurer le débit de dose ambiant en un lieu. Ils peuvent également mesurer des doses cumulées sur une durée donnée, exprimées en millisievert ou en microsievert. La mesure du débit de dose instantané ou de la dose cumulée permet d'évaluer le risque radiologique à l'endroit et au moment de la mesure. Ce sont les appareils les plus faciles à utiliser et les plus accessibles. Cependant, ils ne sont pas adaptés à la mesure de l'exposition d'une personne, pour laquelle il convient d'utiliser un dosimètre (voir la **fiche 6** « Mesurer son exposition externe »). Ils détectent essentiellement les rayonnements gamma, mais peuvent détecter une partie des rayonnements bêta. Ils ne sont pas adaptés à la mesure des rayonnements alpha.



Les ictomètres

Les ictomètres ne donnent pas de valeurs d'exposition mais se limitent à compter les détections de rayonnements ionisants, exprimés en coups par unité de temps (coups par minute (CPM) ou par seconde (CPS)). Les détecteurs utilisés peuvent être des tubes Geiger-Müller, des scintillateurs ou des diodes au silicium. Les ictomètres servent surtout à la détection d'anomalies radiologiques ou « points chauds » (zones de concentration de la radioactivité). Parce que l'efficacité de détection des désintégrations varie d'un appareil à l'autre, les ictomètres ne permettent pas d'estimer le risque dû à l'exposition. Cependant, certains modèles peuvent afficher à la fois des coups par unité de temps et des sieverts : ils peuvent donc être utilisés comme des radiamètres. Certains modèles peuvent détecter les rayonnements alpha et bêta en plus des rayonnements gamma, selon la technologie de détection utilisée.



Les spectromètres gamma

Les spectromètres gamma sont des appareils portables ou fixes, très sensibles, permettant de visualiser les énergies émises par des objets radioactifs sous forme de spectre et de déterminer quels sont les éléments radioactifs (radionucléides) présents dans ces objets. Ils permettent également de mesurer la quantité de radionucléides présents dans des échantillons de sols ou de denrées alimentaires. Les détecteurs peuvent être des scintillateurs ou des semi-conducteurs (voir également l'**annexe 2** « La spectrométrie »). Ils ne peuvent pas détecter les rayonnements alpha et bêta.



Les contaminamètres

Les contaminamètres sont identiques aux radiamètres dans leur principe de fonctionnement, mais se présentent sous la forme d'une sonde avec une forme spécifique, adaptée à la mesure de la radioactivité présente sur une surface plane. Ils utilisent des scintillateurs ou des tubes Geiger-Müller comme capteur. Ces détecteurs sont généralement protégés par une feuille de mica ou de mylar pour permettre la détection de tous les types de rayonnements ionisants. L'appareil mesure la quantité de particules radioactives sur la surface mesurée. Par calcul, il est possible de déterminer l'activité par unité de surface. Les résultats sont donnés en coups par seconde (CPS) ou en Bq, et peuvent être ensuite convertis en Bq/cm².



Les caméras des téléphones mobiles

Certaines applications proposent de mesurer la radioactivité en utilisant la caméra du téléphone mobile. Pour cela, il est nécessaire d'obstruer la caméra de façon à ce que le capteur CDD soit dans l'obscurité complète. Les rayonnements gamma et certains rayonnements bêta énergétiques qui atteignent le capteur CDD peuvent alors produire des éclairs lumineux qui sont ensuite analysés par l'application. Cependant, cette méthode est pour l'instant peu sensible et peu fiable, car il existe un bruit de fond électronique important qui perturbe la mesure des rayonnements ionisants. Ces applications ne permettent donc pas de mesurer les variations du bruit de fond radiologique habituel, mais uniquement des débits de dose plus importants, supérieurs à au moins 0,5 µGy/h. En situation post-accidentelle, ces applications mobiles, gratuites et accessibles à tous, peuvent donc contribuer utilement à la caractérisation d'un environnement fortement contaminé.

QUEL APPAREIL CHOISIR ?

Le tableau ci-dessous vous indique les caractéristiques des appareils en fonction de la nature des mesures que vous souhaitez faire ou de la nature du rayonnement que vous souhaitez détecter.

Certains appareils de mesure du débit de dose ambiant sont connectables à un téléphone mobile, ce qui permet non seulement de réaliser une mesure, mais également de publier ces mesures sur des sites Internet de partage. Les mesures réalisées sont ainsi publiques et chacun peut comparer ses résultats avec ceux de la communauté des utilisateurs (voir les sites www.openradiation.org et <https://safecast.org>). Ces appareils utilisent en général un tube Geiger-Müller et plus rarement un scintillateur.

Type d'appareil	Type de détecteur	Rayonnements détectés	Sensibilité	Type de mesure	N° de page	Fourchette de prix
Radiamètre	Geiger-Müller (tube)	bêta, gamma	moyenne	Débit de dose ambiant	18	€€€
	Détecteur à gaz	bêta, gamma	faible	Débit de dose ambiant		€€€ €€€€
	Geiger-Müller (tube avec fenêtre mica ou de mylar)	alpha, bêta, gamma ⁽¹⁾	moyenne	Débit de dose ambiant		€€€ €€€€
	Diode	gamma	faible	Débit de dose ambiant		€€€
Applications sur téléphone portable	Caméra CDD du téléphone	gamma	très faible	Débit de dose ambiant		gratuit
Contaminamètre	Geiger-Müller avec fenêtre mica ou mylar	alpha, bêta, gamma ⁽¹⁾	élevée	Contamination des surfaces ; Débit de dose au contact	24	€€€€
Spectromètre	scintillateur cristal ou plastique	gamma	élevée	Identification de radionucléides émetteurs gamma sur le terrain	22 24	€€€€€
			élevée à très élevée	Activité dans les aliments, les sols et l'eau ; Identification de radionucléides émetteurs gamma	30	€€€€€ ⁽²⁾

(1) Selon les modèles. (2) Selon les applications envisagées.

LES CARACTÉRISTIQUES À PRENDRE EN COMPTE

La sensibilité des appareils est un paramètre important à prendre en compte. De façon simplifiée, plus l'appareil est sensible, plus la mesure est fiable et rapide.

Il faut également faire attention aux types de rayonnements ionisants que l'appareil peut détecter. Ainsi, la plupart des radiamètres ne détectent pas les rayonnements alpha.

La forme, la géométrie et la sensibilité de l'appareil sont également adaptées à un type de mesure. Ainsi, un radiamètre ne permettra pas de mesurer la contamination d'un produit alimentaire. De même, un spectromètre, qui permet de mesurer la contamination de différentes matrices (aliments, sols, eaux) ne permettra en aucun cas de mesurer un débit de dose ambiant.



ATTENTION

On trouve sur Internet de nombreux détecteurs issus des stocks de la guerre froide. Outre leur possible vétusté, la majorité de ces appareils sont trop peu sensibles pour mesurer la radioactivité à des niveaux observables sur les lieux de vie en situation normale ou post-accidentelle. Il est donc déconseillé de se procurer ce type d'appareil.

Attention également aux applications pour téléphone mobile dont la sensibilité et la fiabilité restent à démontrer. De plus, ils nécessitent des temps d'acquisition relativement longs, peu propices à la mesure de terrain.

Se promener sur un stérile minier est-il dangereux ?

Se promener sur un stérile minier est-il dangereux ?

C'est la question posée par un groupe d'élèves et leur professeur de SVT, au cours de leur participation aux ateliers de la radioprotection. En effet, les stériles miniers sont constitués des roches extraites au cours de l'exploitation minière pour accéder au minerai, et ils sont utilisés pour réaménager les anciens sites miniers ou mis en verse. Ils sont aussi exploités dans le domaine public ou privé (remblai, route, parking).

En novembre 2009, une sortie de terrain dans l'ancienne mine d'uranium de Bellezane à Bessines-sur-Gartempe est organisée par l'atelier de radioprotection du lycée du Bois d'Amour de Poitiers avec le concours de l'IRSN et d'Orano. Plusieurs dizaines de mesures sont effectuées par les élèves avec un radiamètre et un ictomètre. Les mesures sont faites à 1 m de hauteur et certaines sont faites au contact des roches. Le rayonnement gamma varie de 150 à 700 CPS en fonction de la concentration résiduelle en uranium des stériles. Les expositions moyennes, calculées avec l'aide des experts de l'IRSN, sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

Lieux explorés	Débit de dose ambiant moyen ($\mu\text{Sv/h}$)
Champs (bruit de fond)	0,20
Chemins empierrés de stériles	0,45
Verse	0,35

La mesure du débit de dose ambiant ($\mu\text{Sv/h}$) permet d'estimer la dose totale reçue en multipliant la valeur par la durée d'exposition, par exemple ici, par le temps passé sur les différents lieux.

Les élèves ont conclu que, si les stériles miniers sont plus radioactifs que d'autres terrains, se promener sur des stériles miniers ne présente que peu de risque pour la santé.

A., professeur de SVT

Comment réaliser une mesure de bonne qualité ?

Une fois l'appareil choisi, il est important de comprendre les éléments essentiels de la mesure. Il est possible de mesurer des variations du niveau de radioactivité dans notre environnement. Cependant, de nombreux facteurs peuvent influencer le résultat de la mesure. Comment alors s'assurer que la mesure qui est faite est de bonne qualité ? Comment s'assurer que la mesure est fiable ?

LES CARACTÉRISTIQUES DE L'APPAREIL

La fiabilité du résultat de mesure dépend en partie des caractéristiques de l'appareil et de l'adaptation de l'appareil au type de mesure à réaliser. Comme tous les appareils de mesure, un appareil de mesure de la radioactivité a des caractéristiques de sensibilité et de précision qui lui sont propres. Tous les appareils sont étalonnés et calibrés avant d'être commercialisés. Pour les appareils professionnels, cet étalonnage doit être vérifié régulièrement, à l'aide de sources radioactives calibrées. La calibration permet de déterminer les valeurs caractéristiques de l'appareil :

- La limite de détection : c'est la plus petite quantité de radioactivité pouvant être mesurée de façon fiable ;
- La précision : c'est la capacité de l'appareil à donner des résultats proches les uns des autres pour une mesure donnée ;
- La nature des rayonnements détectés (alpha, bêta ou gamma) et la gamme d'énergie des rayonnements détectés ;
- L'efficacité de détection pour des rayonnements de référence ⁽¹⁾.
- Pour certains appareils, l'angle de détection est également déterminé. Cela est important pour les appareils de mesure de la contamination des surfaces, par exemple.

Ces données figurent dans la fiche des caractéristiques techniques de l'appareil.

L'ENTRETIEN DE L'APPAREIL

Tout appareil de mesure doit être maintenu en bon état. Les appareils de mesure de la radioactivité doivent être stockés dans un endroit sec, en évitant les températures extrêmes.

L'appareil et surtout la fenêtre de mesure doivent être propres, exempts de contamination radioactive. Pour ce qui concerne les appareils de mesure de la contamination de surface, il peut être utile de vérifier que la fenêtre de mesure est intègre. En effet, si le film de mylar ou la fenêtre de mica, fragiles, sont abîmés, cela peut produire une mesure aberrante ou l'impossibilité de réaliser une mesure ⁽²⁾. De plus, la mesure d'une surface doit être faite en rapprochant le détecteur au maximum sans toucher la surface, pour éviter les risques de contamination de l'appareil.

La batterie de l'appareil doit être suffisamment chargée (supérieure à 50 % de charge).

D'une façon générale, il est utile de lire le mode d'emploi de l'appareil ou de se renseigner auprès du fabricant pour l'entretien de l'appareil, mais aussi pour les éventuels réglages à réaliser avant de procéder à une mesure.

(1) L'efficacité de détection est le pourcentage de rayonnement détecté par rapport à ce qui est émis par des sources radioactives de référence.

(2) Pour vérifier l'intégrité de la fenêtre de mesure, tourner la fenêtre vers une source lumineuse. Si la fenêtre est abîmée, l'appareil va indiquer une mesure bien au-dessus du bruit de fond.

LA MESURE

La qualité du résultat de mesure dépend en grande partie de la méthode de mesure utilisée par la personne. De nombreux paramètres peuvent influencer la qualité du résultat :

• La mesure d'un bruit de fond radiologique.

- On désigne par « bruit de fond radiologique » les activités des différents radionucléides présents dans l'environnement, en dehors de toute influence anthropique actuelle (industrie nucléaire, autres industries, rejets hospitaliers, etc.). Ce bruit de fond résulte d'une part de sources naturelles, et d'autre part de la rémanence d'apports anciens de radionucléides artificiels qui ont concerné l'ensemble du territoire ; il s'agit notamment des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et des retombées de l'accident de Tchernobyl (3) (voir l'**annexe 6** « L'exposition à la radioactivité en France »). Le bruit de fond radiologique est finalement la quantité de radioactivité présente dans un endroit ou dans un objet avant sa contamination par un événement radiologique récent. Il est important de connaître ce bruit de fond radiologique, par exemple disposant de mesures réalisées avant cet événement ou en réalisant des mesures dans des endroits proches et des objets similaires. On peut alors comparer les valeurs obtenues : avec les résultats des mesures réalisées au même endroit ou sur le même objet, pour s'assurer que l'appareil donne un résultat cohérent et qu'il n'est pas contaminé ou en panne ;
- Avec les résultats des mesures réalisées dans des endroits proches ou sur des objets similaires pour tester une augmentation de la radioactivité.

• **La durée de la mesure.** Plus la durée de la mesure est longue, plus la précision est grande. Il est donc recommandé de mesurer sur des durées de plusieurs minutes, particulièrement lorsque le débit de dose est faible, quitte à s'éloigner de l'appareil pour limiter son exposition.

• **La répétition des mesures.** Répéter une mesure au même endroit et dans les mêmes conditions permet de s'assurer que le résultat est fiable. En effet, plusieurs mesures faites dans les mêmes conditions vont donner des résultats légèrement différents, mais l'ensemble de ces mesures permettra d'évaluer la variabilité des résultats et donc leur fiabilité. Plus les résultats seront proches les uns des autres, plus ils seront fiables. Faire trois mesures et retenir la valeur médiane ou moyenne permet d'obtenir un résultat assez fiable.

• **Le mode opératoire de la mesure.** Réaliser des mesures dans les mêmes conditions permet de les comparer. Par exemple, il est convenu que la mesure de débit de dose ambiant doit se faire à une hauteur de 1 mètre au-dessus du sol.

• **En situation post-accidentelle,** le débit de dose ambiant varie de façon importante en fonction des conditions de dépôt des radionucléides transportés par le panache radioactif (pluie, vent, etc.). Après les accidents de Tchernobyl et de Fukushima, ces dépôts radioactifs se sont répartis de manière très irrégulière. On appelle ces hétérogénéités sur les cartes de dépôts des « taches de léopard ». Ainsi, à quelques mètres de distance, on peut mesurer des zones très peu ou très contaminées (on parle alors de « point chaud »).

LES INFORMATIONS À COLLECTER

Le résultat des mesures va également dépendre du lieu, de l'heure, des conditions météorologiques et d'autres paramètres. Les applications comme OpenRadiation ou Safecast collectent en général ces données de façon automatisée, mais il est important de noter les informations sur les conditions dans lesquelles les mesures ont été réalisées :

- La date et l'heure ;
- Le lieu, avec l'altitude et les coordonnées GPS si possible ;
- Le type d'appareil utilisé ;
- La nature de la mesure : spectrométrie, débit de dose ambiant, etc. et les conditions dans lesquelles la mesure a été faite (hauteur au-dessus du sol ou au contact du sol, etc.).

- Si la mesure est réalisée en intérieur, préciser la pièce, l'étage, la proximité d'une fenêtre ;
- Si la mesure est réalisée en extérieur, noter la météo : vent, température, pluviométrie ;
- Noter également les caractéristiques du lieu : en ville, en forêt, dans une prairie, sur une route, et toute information sur la topographie.
- S'il s'agit d'un échantillon, identifier soigneusement cet échantillon, le lieu et la méthode de prélèvement, et toute autre information nécessaire. Pour cela, vous pouvez utiliser les fiches-types proposées en **annexe 4** « Les fiches-types de prélèvement ou de mesure ».

La collecte de ces informations permet ensuite de comparer des mesures faites dans des conditions similaires.

(3) Définition extraite du rapport IRSN 2021-00765 « Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 ».

| SE PROTÉGER DE LA RADIOACTIVITÉ

La qualité du résultat de mesure dépend en grande partie de la méthode. En situation normale, la radioactivité dans l'environnement présente relativement peu de risques pour la santé humaine. En revanche, en situation post-accidentelle, la radioactivité peut atteindre des niveaux élevés. En toutes circonstances, et plus particulièrement en situation post-accidentelle, il est donc recommandé d'adopter quelques précautions élémentaires :

- Porter des gants jetables propres lors du prélèvement d'un échantillon, quelle que soit sa nature : terre, légumes, fruits, herbe, etc. ;
- Emballer l'échantillon dans un sac étanche, type sac à zip ;
- Si l'échantillon doit subir un traitement (enlèvement des parties végétales de la terre, broyage, etc.), protéger la surface de travail avec un film plastique, une bâche, etc. ;

- S'il existe un risque de présence de poussières, porter un masque de type chirurgical pour se protéger ;
- Sauf cas exceptionnel, les équipements de protection (gants, film de protection) peuvent être jetés dans la poubelle d'ordures ménagères ;
- Éviter d'aller dans les zones à risque : zone fortement contaminée mais aussi zones pouvant présenter d'autres risques (chute, noyade, etc.) ;
- Respecter également les propriétés privées et les zones interdites d'accès.

Dans l'immense majorité des cas, le port d'une combinaison de protection (type combinaison de peintre ou combinaison Tyvek) n'est pas utile. Ce type de protection est réservé aux intervenants professionnels dans les zones très fortement contaminées.

Mesurer la radioactivité ambiante

Difficulté +

Investissement €€€

L'Homme est exposé en permanence à un bruit de fond radiologique en provenance de son environnement. Dans les situations post-accidentelles, les dépôts radioactifs augmentent la radioactivité ambiante de façon importante. La mesure du débit de dose ambiant permet d'évaluer le niveau de radioactivité sur le lieu de la mesure. En situation normale, le débit de dose ambiant mesuré correspond au bruit de fond

radiologique. En situation post-accidentelle, le débit de dose ambiant correspond au bruit de fond radiologique augmenté de la radioactivité due à l'accident. La mesure du débit de dose ambiant rend compte de la présence de la radioactivité dans l'air et de la répartition des dépôts radioactifs dans l'environnement et peut permettre d'adapter son comportement pour réduire son exposition.

LES APPAREILS DISPONIBLES

Il est relativement aisé de mesurer l'exposition externe, à l'aide d'appareils accessibles dans le commerce. Ce sont des radiamètres (ou des débitmètres) constitués généralement d'un tube Geiger-Müller. Le résultat est affiché en nanosievert par heure (nSv/h) ou en microsievert par heure (µSv) (4). Ces appareils peuvent détecter des variations de la radioactivité ambiante.

Ces appareils sont autonomes ou pilotés par une application sur téléphone mobile. Dans tous les cas, il est possible de déposer les résultats de la mesure sur certains sites, soit de façon automatique soit de façon manuelle, permettant de les comparer avec ceux obtenus par d'autres utilisateurs.



CE QUE CES APPAREILS NE PEUVENT PAS MESURER

Ces appareils ne sont pas adaptés à la mesure de la contamination des produits alimentaires ou de l'eau, de la contamination des sols ou encore à la mesure de la radioactivité dans le corps humain (voir les fiches-mesures correspondantes).

LES CONSEILS SUR LA MESURE

Voir la **fiche n° 4** « Comment réaliser une mesure de bonne qualité ? »

(4) Sur certains appareils l'unité du sievert peut être remplacée par le gray (Gy) pour les rayonnements gamma, ou en taux de comptage (coups par seconde, ou chocs par seconde, CPS). Voir la **fiche 4** « Les grandeurs en radioprotection ».

QUELQUES EXEMPLES DE DÉBIT DE DOSE AMBIANT RENCONTRÉS

Le débit de dose ambiant mesuré peut varier de façon importante d'un moment à l'autre pour un même lieu, en fonction des conditions météorologiques en particulier. Les fourchettes de débit de dose ambiant sont donc données à titre indicatif.

En situation normale :

- En Île-de-France, en extérieur, à 1 m au-dessus du sol : 0,04 à 0,1 $\mu\text{Sv/h}$. Les sols calcaires sont peu radioactifs ;
- Dans les Alpes, à Chamonix (1 000 m d'altitude) : de 0,10 à 0,18 $\mu\text{Sv/h}$. Les sols granitiques sont plus radioactifs que les sols calcaires et l'altitude augmente l'exposition au rayonnement cosmique ;
- En Bretagne, en extérieur : de 0,09 à 0,20 $\mu\text{Sv/h}$. Les sols granitiques sont plus radioactifs que les sols calcaires ;
- Dans les Alpes, au col du Mont (Sainte-Foy-Tarentaise, 2 636 m d'altitude) : 0,24 à 0,28 $\mu\text{Sv/h}$. L'altitude augmente l'exposition au rayonnement cosmique ;
- Durant un vol en avion : 1,5 à 3,0 $\mu\text{Sv/h}$ selon l'altitude. Ce débit de dose ambiant élevé est dû au rayonnement cosmique.

En situation post-accidentelle :

- Dans un village Biélorusse, proche de la zone interdite, en 2017 : 0,05 à 0,20 $\mu\text{Sv/h}$. 35 ans après l'accident de Tchernobyl, la radioactivité a décru (données du site OpenRadiation) ;
- Dans le même village, près d'un stockage de cendres : 0,40 à 0,93 $\mu\text{Sv/h}$. Les cendres concentrent la radioactivité contenue dans le bois (données du site OpenRadiation) ;
- Pour définir les zones évacuées à la suite de l'accident de Fukushima : 3,8 $\mu\text{Sv/h}$, soit 20 mSv/an ;
- Sur le site de la centrale de Fukushima-Daiichi lors d'une visite de la CLI de Flamanville, en 2022 : de 0,3 à 1,3 $\mu\text{Sv/h}$;
- Sur la plateforme panoramique (vue sur le site de Fukushima-Daiichi) lors d'une visite du site d'entreposage des déchets contaminés (ISF) en 2023 : 0,4 $\mu\text{Sv/h}$.

Utilisation d'un appareil connecté de mesure de la radioactivité par une citoyenne :

« Vivant tout près d'une centrale nucléaire, je me suis sentie concernée pour connaître et suivre la qualité radiologique de mon environnement immédiat. Je me suis équipée de radiamètres dont l'un est connecté à un réseau d'utilisateurs sur mon téléphone mobile. Je prends des mesures chaque semaine en respectant quelques règles comme faire plusieurs mesures au même endroit et dans les mêmes conditions et en faire la moyenne, à l'extérieur, à un mètre au-dessus du sol et au niveau du sol.

Ce dispositif permet de produire ses propres données et de s'assurer que les résultats correspondent bien au bruit de fond radiologique. Il présente aussi l'avantage de pouvoir être, en cas d'incident, un instrument d'alerte citoyen. »

Mme D., habitante de Nogent-sur-Seine

Mesurer son exposition externe

Difficulté +

Investissement €€

Les rayonnements ionisants sont présents partout dans notre environnement. Ils peuvent déposer leur énergie dans le corps humain. L'exposition externe est la composante de l'exposition causée par les sources de rayonnements situées en dehors du corps humain. La dosimétrie externe est la mesure de la dose absorbée par une personne (ou un objet) résultant d'une exposition à un ou plusieurs types de rayonnements ionisants (rayons X, gamma, bêta ou neutrons selon le type de dosimètre utilisé). Elle permet de surveiller l'exposition d'une personne et fait partie des outils de la radioprotection.

Pour estimer l'exposition externe d'une personne pendant une période donnée (jour, semaine, mois), on utilise un dosimètre. Ce dosimètre va mesurer l'exposition lorsque la source se situe à l'extérieur de l'organisme. Il doit être porté par la personne durant toute la période de mesure.

Le dosimètre à lecture différé est l'un des outils de la surveillance dosimétrique individuelle des travailleurs exposés. Son utilisation nécessite un dosimétrie témoin, laisser hors de la zone d'exposition, pour pouvoir soustraire le rayonnement naturel. Le dosimètre opérationnel est quant à lui obligatoire pour tout travailleur évoluant dans une zone à fort risque d'exposition. C'est un équipement de prévention qui permet d'alerter le travailleur en cas d'exposition importante et d'optimiser son activité dans la zone.

En situation post-accidentelle, les dosimètres pourraient être utilisés pour étudier l'exposition de personnes du public notamment dans des situations à risques. Il serait également possible d'utiliser des dosimètres d'ambiance pour étudier l'exposition externe dans un lieu donné.

LES DOSIMÈTRES DISPONIBLES

Il existe deux sortes de dosimètres :

Le dosimètre à lecture différée ou dosimètre passif est constitué d'un matériau détecteur inséré dans un boîtier. Il comporte des filtres de différente nature permettant d'identifier les différents types de rayonnements ionisants. Leur principe de fonctionnement repose sur la luminescence induite par les rayonnements ionisants qui est lue par des appareils de lecture spécifiques.

Ces dosimètres sont autonomes, ils fonctionnent sans source d'énergie. Ils sont robustes pour supporter des conditions d'utilisation extrêmes et permettre de mesurer une dose même dans des conditions dégradées (absence de réseau Internet ou d'électricité, chocs, etc.).

Le dosimètre doit être porté à l'endroit, sur la poitrine, au niveau de la poche de poitrine. Le respect de ces consignes est essentiel pour que l'exposition mesurée soit bien représentative de l'exposition de la personne. La lecture des dosimètres à luminescence ne peut être faite que dans un laboratoire spécialisé et accrédité. Le résultat est donné généralement en micro ou en millisievert pour la période d'utilisation.



Le dosimètre D-Shuttle, qui a été utilisé à titre expérimental au Japon, en Biélorussie et en France, fait partie de la catégorie des dosimètres à lecture différée à photodiodes. Il a l'avantage de pouvoir être lu par l'utilisateur à l'aide d'un boîtier de lecture.



Le dosimètre opérationnel ou dosimètre à lecture immédiate, mesure la dose de rayonnement en détectant et en comptant le nombre d'ionisations dans un réseau de photodiodes en silicium. Il permet une lecture immédiate de la dose reçue. Il est utilisé pour une mesure lors d'une mission spécifique ou sur une période donnée. Des seuils d'alarme peuvent être prédéfinis, de façon à prévenir l'utilisateur qu'il dépasse un seuil de risque au cours d'une activité avec un risque d'exposition.

Le dosimètre opérationnel utilise une source interne d'énergie (batterie) pour fonctionner. Une station de lecture est nécessaire pour pouvoir gérer les dosimètres actifs (paramétrage du dosimètre et analyse des données). Des seuils d'alarme peuvent être prédéfinis par l'utilisateur. En fonction de son étalonnage réalisé par des laboratoires agréés, le résultat est donné en débit de dose, généralement en $\mu\text{Sv}/\text{heure}$.

LES LIMITES DE L'UTILISATION D'UN DOSIMÈTRE

Les dosimètres sont conçus exclusivement pour mesurer l'exposition externe d'une personne sur une période donnée s'ils sont utilisés de manière individuelle.

QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR ET NIVEAUX RÉGLEMENTAIRES

En situation normale, l'ensemble des activités nucléaires auxquelles peut être exposée la population ne doit pas conduire à une dose efficace supérieure de 1 mSv/an.

En situation post-accidentelle, les actions de protection mises en place par les autorités doivent permettre que la population présente sur le territoire contaminé ne soit pas exposée à plus de 20 mSv la première année. Ce niveau de référence est réévalué chaque année et il doit tendre, à terme, vers 1 mSv par an ou moins.

Témoignage d'une CLI en voyage au Japon

« À l'occasion d'un voyage à Fukushima des CLI de la Manche, nous avons organisé un suivi dosimétrique en continu des participants en utilisant des dosimètres opérationnels. Nous avons ensuite comparé les différentes doses reçues au cours de ce voyage. À partir de ces mesures, on peut constater que le débit de dose journalier moyen en 2017 dans les villes affectées par l'accident de Fukushima est inférieur à celui mesuré à Cherbourg ($1,7 \mu\text{Sv}/24 \text{ h}$) sauf pour le jour de la visite de la centrale accidentée ($7,3 \mu\text{Sv}/24 \text{ h}$).

Lors du vol Tokyo/Paris (11 h), la dose reçue correspond à $88 \mu\text{Sv}$ (débit maximal $10,6 \mu\text{Sv}/\text{h}$). Nous avons également pu constater que la dose reçue à 30 m du réacteur 1 accidenté de la centrale de Fukushima pendant une heure ($40,6 \mu\text{Sv}/\text{h}$) correspond à celle reçue pendant 4 heures ($10,6 \mu\text{Sv}/\text{h}$) lors du vol Tokyo/Paris. »

Ces données sont issues du rapport de la CLI de Flamanville, accessible avec le lien :

http://www.arill.fr/fileadmin/medias/documents/autres_docs/Martin-JP/Fukushima_v25d.pdf

M. B., membre de la CLI de Flamanville

Mesurer la radioactivité dans les aliments

Difficulté ++

Investissement €€€€€

Les aliments (fruits et légumes, les graines, les produits laitiers, la viande et le poisson) contiennent de la radioactivité naturelle en faible quantité, notamment du potassium 40 et du carbone 14. Néanmoins, cette radioactivité ne présente que très peu de risques pour la santé.

Après un accident sur une installation nucléaire, il est déconseillé de consommer des aliments qui ont pu être contaminés pendant les jours qui suivent le passage du panache radioactif, car ils peuvent contenir des radionucléides comme l'iode 131, le césium 137 ou encore le strontium 90. Les radionucléides sont déposés sur les feuilles ou les fruits en quantité assez importante. Les aliments les plus sensibles aux dépôts radioactifs sont les légumes à feuille et le lait (de chèvre, de brebis ou de vache). À moyen terme (quelques mois), de nombreux radionucléides disparaissent du fait de la décroissance radioactive, comme l'iode 131, dont la radioactivité est divisée par deux tous les huit jours.

Sur le plus long terme (plusieurs mois et années qui suivent l'accident), les principaux radionucléides

qui peuvent se retrouver dans les aliments sont le césium 134 (demi-vie d'environ 2 ans) et le césium 137 (demi-vie d'environ 30 ans). Certains aliments comme les champignons, les baies et plantes sauvages comestibles, la viande de gibier ou le poisson de rivière peuvent concentrer cette radioactivité de façon importante (c'est-à-dire quelques centaines voire plusieurs milliers de Bq/kg). Consommés en grande quantité ou fréquemment, ces aliments peuvent potentiellement poser un problème pour la santé, ils méritent donc d'être mesurés avant consommation.

Le strontium 90 (demi-vie d'environ 30 ans) n'est pas mesurable avec les appareils disponibles dans le commerce : la mesure de ce radionucléide sera faite par les laboratoires spécialisés qui informeront les consommateurs sur les aliments à éviter. Le césium 137, tout comme le césium 134 et l'iode 131 seront également mesurés par les laboratoires spécialisés, mais ils sont aussi mesurables avec des appareils de spectrométrie gamma du commerce. Ce sont des mesures accessibles au public.

LES APPAREILS DISPONIBLES

La mesure des radionucléides dans les aliments se fait par spectrométrie gamma avec des spectromètres plus ou moins sophistiqués. Les plus accessibles sont équipés d'un cristal d'iodure de sodium (NaI). Ils peuvent se présenter sous la forme d'un récipient entouré d'une enceinte plombée. Ils peuvent mesurer en quelques minutes de 100 g à 1 kg d'aliments (mixés ou non). Ces appareils doivent être cependant régulièrement vérifiés par des spécialistes (pour entretien et étalonnage).

CE QUE CES APPAREILS NE PEUVENT PAS MESURER

Généralement, les appareils les plus accessibles ne permettent pas de mesurer de bas niveaux de radioactivité en dessous de quelques dizaines de becquerels par kilogramme (Bq/kg), c'est-à-dire les niveaux les plus fréquemment observés en situation normale.



LES CONSEILS SUR LA COLLECTE DE L'ÉCHANTILLON

Une mesure de la radioactivité dans des aliments nécessite de 500 g à 1 kg de produits frais. Les produits doivent être nettoyés de toute trace de terre ou de débris végétaux. Ils doivent être coupés en petits morceaux ou passés au mixeur (si possible), pour favoriser les conditions de mesure. L'échantillon doit être pesé avant la mesure.

Voir également la **fiche 4** « Comment réaliser une mesure de bonne qualité » et l'**annexe 2** « La spectrométrie »

QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

En situation normale, les aliments contiennent principalement de la radioactivité naturelle, en quantités variables. Le radionucléide le plus fréquent est le potassium 40, qui représente plus de 90 % de la radioactivité naturelle contenue dans notre alimentation. Les activités massiques varient de quelques dizaines de Bq/kg à plusieurs centaines de Bq/kg de produits frais dans certains produits végétaux, comme les graines de soja ou les noix de macadamia (noix du Brésil).

En situation post-accidentelle, ce sont essentiellement le césium 134 et le césium 137 qui sont retrouvés dans les produits alimentaires. Certains concentrent préférentiellement le césium comme les champignons et la viande de sanglier. Quelques exemples de valeurs retrouvées la première année après l'accident de Fukushima sont donnés dans l'**annexe 8** « La nourriture et l'eau ».

Témoignage de deux habitantes du village de Suetsugi (Japon)

« À Suetsugi, l'association de Rioko Ando a ouvert dans le village une permanence de laboratoire dans une salle communale pour contrôler les produits alimentaires des jardins.

Maiko Momma : « J'ai pris aujourd'hui des mesures sur des produits du jardin. Des oignons, des pommes de terre ou encore des poireaux. Nous prenons également des mesures sur des produits récoltés en montagne. Différentes variétés de plantes ainsi que des pousses de bambou. Nous mesurons les aliments que nous récoltons en fonction des saisons. »

Ces mesures leur ont permis de découvrir avec soulagement que la contamination des produits alimentaires était loin de l'ampleur qu'elle avait eue après l'accident de Tchernobyl.

Maiko Momma : « nous vérifions si les aliments sont en dessous ou au-dessus de la norme de 100 Bq/kg. Récemment, nous n'avons eu qu'un cas de récolte de pousses de bambou qui dépassait la norme mais de très peu. »

À Itate, 4 ans après l'accident, c'est en mesurant les plantes comestibles des montagnes, les sansaï, que Mme Kuni Kano a trouvé une raison d'espérer.

Kuni Kano : « J'ai mesuré la contamination de toutes les sortes de sansaï. Certaines avaient une dose élevée, mais la plupart étaient « nd », non détectables. Alors, je me suis dit qu'elles étaient redevenues comestibles. La radioactivité n'augmente pas mais baisse. Je me suis demandé quel résultat on aura l'année prochaine. Si la radioactivité continue à baisser, nous allons pouvoir revenir. »

Extrait du film documentaire Arte « Tchernobyl, Fukushima : Vivre avec »
Réal. Olivier Julien. Prod. Hind Saïh, ©Arte 2016.

Mesurer la contamination des sols, des cendres et des poussières

Difficulté ++

Investissement €€€€€

Les sols retiennent les éléments radioactifs qui se déposent à leur surface. Une fraction de cette radioactivité peut être transférée aux plantes puis ingérée. C'est pourquoi il peut être important de mesurer la radioactivité d'un sol dans un potager, un terrain de jeu, un chemin, etc.

Après un accident nucléaire, les radionucléides rejetés vont se déposer sur les sols en fonction des conditions météorologiques et de la couverture des sols. Les ruissellements des pluies, les travaux agricoles, l'érosion peuvent ensuite déplacer la radioactivité dans

l'environnement. La nature même du sol va également modifier le devenir des éléments radioactifs. Ainsi, les niveaux de radioactivité dans les sols peuvent varier d'un endroit à l'autre et dans le temps.

À la suite des accidents de Tchernobyl et de Fukushima, des habitants ont eu l'idée de mesurer les cendres et les poussières d'aspirateur. En effet, les cendres concentrent certains radionucléides, et les poussières peuvent donner une idée de la contamination de l'intérieur des habitations.



LES APPAREILS DISPONIBLES

La mesure de concentration des radionucléides (en Bq/kg) dans les sols, dans les cendres de bois de chauffage ou dans les poussières, se fait par spectrométrie pour les radionucléides qui émettent un rayonnement gamma (voir l'**annexe 2** « La spectrométrie »). Les plus accessibles sont équipés d'un détecteur à cristal d'iodure de sodium (NaI). Ils comportent en général une chambre de mesure entourée d'une enceinte plombée dans laquelle est déposé l'échantillon à mesurer.

CE QUE CES APPAREILS NE PEUVENT PAS MESURER

Généralement, les appareils les plus accessibles ne permettent pas de mesurer de bas niveaux de radioactivité en dessous de quelques dizaines de becquerels par kilogramme (Bq/kg). Ils ne mesurent pas le strontium 90 qui est un émetteur bêta pur.

LES CONSEILS SUR LA COLLECTE DE L'ÉCHANTILLON

La quantité généralement nécessaire pour la mesure est de 500 g à 1 kg. La méthode de prélèvement d'un échantillon de sol va dépendre de l'objectif de la mesure. Si on veut évaluer la quantité de radioactivité déposée, on prélèvera de préférence la terre de surface (premiers 5 cm). Des carottages sont également possibles pour évaluer la contamination du sol à différentes profondeurs ou l'effet de certaines actions de protection (labour profond par exemple).

Les outils de prélèvement (pelle-bêche, gabarit métallique, outil de carottage) devront être nettoyés avant et après prélèvement pour limiter les risques de contamination entre échantillons.

Une mesure du débit de dose au contact du sol avant de faire le prélèvement puis une mesure au contact de l'échantillon prélevé sont conseillées afin de prendre les éventuelles précautions nécessaires à sa manipulation. Voir également les **fiches 3** « Quel appareil choisir pour quelle mesure ? » et **5** « Mesurer la radioactivité ambiante » et l'**annexe 2** « La spectrométrie ».



LES RÉSULTATS (FORMAT, UNITÉS)

Les résultats fournis par l'appareil de mesure pour chaque radionucléide identifié peuvent être donnés en coup par seconde (CPS) ou en becquerel par kilo (Bq/kg). Généralement les paramètres permettant la recherche et la quantification de deux ou trois radionucléides sont prédéfinis par le constructeur de l'appareil (par exemple césium 137, césium 134 et potassium 40).

LES ORDRES DE GRANDEUR OBSERVABLES

Le bruit de fond radiologique en France métropolitaine (chiffres 2022) :

- Sols : quelques dizaines à quelques centaines de Bq/kg de radionucléides naturels, en fonction de la nature des sols. Il s'agit essentiellement de potassium 40, d'uranium et de radium.
- Césium 137 : quelques dizaines de Bq/kg de sol au plus (sauf cas particuliers), surtout dans l'est de la France. Voir aussi l'**annexe 6** : « L'exposition à la radioactivité en France ».

Après un accident nucléaire :

- Au Japon :
 - plusieurs dizaines de milliers de Bq/kg de césium 137 dans les sols au-delà de la zone d'évacuation dans les premiers mois après l'accident de Fukushima ;
 - la limite de contamination d'un sol agricole a été fixée à 5 000 Bq/kg de césium 137 pour autoriser la culture du riz ;
 - une terre contaminée est considérée comme déchet radioactif si elle dépasse la valeur de référence de 8 000 Bq/kg.
- En Biélorussie, un zonage a été mis en place en fonction de l'activité surfacique déposée sur les sols :
 - zones interdites : concentration surfacique en Cs 137 supérieure à 1 480 000 Bq/m² ;
 - zones de relogement obligatoire : entre 555 000 Bq/m² et 1 480 000 Bq/m² ;
 - zones de relogement volontaire : entre 185 000 Bq/m² et 555 000 Bq/m² ;
 - zones de contrôle radiologique : entre 37 000 Bq/m² et 185 000 Bq/m².

Une action de protection vis-à-vis des cendres

« Au cours du projet Ethos en Biélorussie, au début des années 2000, des mères de famille ont eu l'occasion de réaliser des mesures de débit de dose ambiant à l'intérieur des maisons. Elles se sont rendu compte que les débits de dose étaient plus élevés autour des poêles à cause des cendres de combustion du bois de chauffage.

Les études d'exposition ont rapidement montré que le risque radiologique pour les familles n'était pas très élevé. Cependant, cette situation a conduit à des inquiétudes sur le devenir des cendres. Les mères ont donc réalisé des mesures sur les cendres issues de différentes espèces de bois et selon l'utilisation, chauffage ou cuisson. Toutes les mesures de contamination des cendres réalisées dans le village se situaient largement au-dessus de la norme de 1 000 Bq/kg pour définir le caractère radioactif des déchets, avec une moyenne de 30 000 à 50 000 Bq/kg et des valeurs pouvant dans certains cas dépasser 100 000 Bq/kg.

Les habitants du village ont proposé de déconseiller l'utilisation des cendres comme engrais pour les jardins potagers et ont collectivement réfléchi et proposé des solutions pour la collecte et l'entreposage des cendres à l'extérieur du village.

Extrait du rapport CEPN-R286, 2004.

Mesurer la radioactivité d'une surface

Difficulté +++

Investissement €€€€

Des particules radioactives, naturelles ou artificielles, peuvent se déposer sur les surfaces. En situation normale, ce dépôt radioactif, extrêmement faible, est difficilement détectable. En situation post-accidentelle, les dépôts radioactifs peuvent être importants. Alors, il peut être intéressant de mesurer le niveau de contamination de la surface de différents supports et objets afin de savoir s'il est possible de les utiliser sans risque.

Pour ce faire, il est nécessaire d'utiliser un appareil spécifique, le contaminamètre, qui permet d'évaluer la quantité de particules radioactives détectées sur une surface donnée. Par calcul, il est ensuite possible de déterminer l'activité par unité de surface.

LES APPAREILS DISPONIBLES

Il existe plusieurs types de contaminamètres, adaptés à différents usages. Ils ont tous en commun d'avoir une surface de détection protégée par un film de mylar ou une fenêtre de mica, très fragile. Il existe des appareils portables avec une surface de détection de quelques dizaines de cm² ou des sondes reliées à un module d'acquisition. En situation post-accidentelle, et plus particulièrement après la fin des rejets, la mesure de la contamination des surfaces peut permettre de détecter les surfaces contaminées et donc d'orienter des choix de nettoyage et de décontamination. Le choix doit se porter de préférence sur un appareil avec une grande surface de détection.



ATTENTION

Ces appareils doivent être contrôlés régulièrement par un organisme certifié.

LES CONSEILS DE MESURE

Les particules radioactives peuvent adhérer plus ou moins fortement aux surfaces testées. On parle de contamination fixée ou labile (non fixée). Des précautions sont donc à prendre pour ne pas contaminer les appareils de mesure et avoir des résultats de mesure fiables. Difficile et très technique, il est donc préférable de laisser la réalisation de ces mesures à des spécialistes. Si vous souhaitez tout de même en réaliser, voici les précautions à prendre :

- Faire au préalable une mesure du bruit de fond radiologique sur une surface similaire non contaminée, pour comparaison.
- Protéger l'appareil avec un film plastique (film alimentaire ou sac à congélation par exemple), sans recouvrir la zone de détection de l'appareil.

- Se protéger avec une paire de gants jetables (type gants de chirurgien).
- Ne jamais toucher la surface avec l'appareil de mesure, mais en être le plus proche possible.
- Il existe deux types de mesure : directe ou indirecte.

Pour une mesure directe :

- Placer la fenêtre de détection au-dessus de la surface à mesurer, au plus proche de la zone possiblement contaminée mais sans la toucher ;
- Rester en position de mesure sans bouger durant une dizaine de secondes.

Pour une mesure indirecte (avec un frottis) :

- délimiter le support à tester et calculer sa surface ;
- utiliser un papier de type essuie-tout ou mouchoir et le passer sur la surface à tester ;
- placer ensuite cette feuille devant la fenêtre de détection du contaminamètre sans la toucher, attendre une dizaine de secondes ;
- si le résultat vous indique la présence d'une contamination sur le papier, cela signifie qu'une partie des particules radioactives est non fixée. Il faut alors refaire une mesure directe pour vérifier s'il reste de la contamination fixée.

QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

Les résultats de mesure de contamination radioactive d'une surface sont donnés en Bq/cm².

En radioprotection et de façon usuelle, on considère qu'une surface n'est pas contaminée si les valeurs mesurées ne dépassent pas :

- 0,4 Bq/cm² pour des radionucléides émetteurs de rayonnement bêta ou gamma ;
- 0,04 Bq/cm² pour des radionucléides émetteurs de rayonnement alpha.

Deux valeurs usuelles existent pour la contamination de surface des colis de transport de substances radioactives. On considère que la surface des colis est contaminée si la quantité de radioactivité :

- dépasse 4 Bq/cm² pour des radionucléides émetteurs de rayonnement bêta ou gamma ;
- dépasse 0,4 Bq/cm² pour des radionucléides émetteurs de rayonnement alpha.

À la suite de l'accident de Fukushima, des critères de contamination surfacique ont été utilisés :

- pour les produits en provenance du Japon, le critère de contamination surfacique des produits a été fixé à 4 Bq/cm² ;
- pour les avions en provenance du Japon, la contamination surfacique extérieure ne devait pas dépasser 40 Bq/cm².

CE QUE CES APPAREILS NE PEUVENT PAS MESURER

Les contaminamètres ne peuvent pas être utilisés pour mesurer la contamination d'une surface humide ou mouillée. En effet, l'eau arrête les rayonnements alpha et une partie des rayonnements bêta (voir la **fiche 1** « Les types de rayonnements ionisants et leur mesure »). Les contaminamètres ne peuvent pas être utilisés pour autre chose que la mesure de la contamination d'une surface.

Pour en savoir plus

Pour des informations plus détaillées, vous pouvez vous référer à la fiche technique de la SFRP : « mémo concernant la mesure de contamination radioactive surfacique » à l'adresse suivante :
<https://sfrp.asso.fr/wp-content/uploads/2023/05/Fiche-Technique-SFRP-Mesure-de-contamination--05-2023-V9.pdf>

Mesurer la radioactivité dans le corps humain

Difficulté ++++

Investissement €€€€€€

En situation normale, il est possible de mesurer de la radioactivité naturelle dans le corps humain. Hors situation post-accidentelle, la mesure de la radioactivité dans le corps humain n'est réalisée que dans le cadre de la surveillance dosimétrique individuelle de travailleurs susceptibles d'être contaminés dans le cadre de leur activité professionnelle. Il n'y a donc pas d'intérêt à développer une mesure citoyenne de la radioactivité dans le corps humain en situation normale.

En situation post-accidentelle, les risques de contamination interne sont plus élevés, compte tenu de la contamination de l'environnement. La mesure de la radioactivité dans le corps humain permet d'évaluer l'exposition interne d'une personne. Elle doit être réalisée lorsqu'on suspecte une contamination interne,

due par exemple à l'inhalation de particules radioactives ou à l'ingestion d'aliments ou de boissons contaminés. À la suite des accidents de Tchernobyl et de Fukushima, des associations se sont dotées d'équipements de mesure anthroporadiométriques et radiotoxicologiques afin de proposer un suivi aux populations les plus exposées.

Dans tous les cas, la mesure de la radioactivité dans le corps humain ne peut être faite que par des spécialistes, avec des appareillages et des protocoles complexes. De plus, elle doit être prescrite par un médecin en fonction des risques encourus.

LES MÉTHODES DISPONIBLES

Deux méthodes de mesure sont disponibles : les mesures anthroporadiométriques et les analyses radiotoxicologiques. Les laboratoires doivent être accrédités pour pouvoir réaliser ce type d'examen dans le cadre de la surveillance des travailleurs.

La mesure anthroporadiométrique est une mesure directe du rayonnement gamma émis par les radionucléides depuis l'intérieur du corps. Cette mesure ne peut donc détecter que des radionucléides comme le potassium 40, l'iode 131 ou les césiums 134 et 137. Pour la surveillance des travailleurs, le cobalt 60, l'argent 110 m, le chrome 51 ou le manganèse 54 sont également détectés par cette méthode. La mesure anthroporadiométrique se fait uniquement avec des appareillages sophistiqués. Il existe également des dispositifs de mesure sur siège, plus légers et plus faciles à transporter. Ils ont été utilisés par des associations pour mesurer la contamination des enfants en Biélorussie et la contamination d'habitants à la suite de l'accident de Fukushima.

L'analyse radiotoxicologique consiste à mesurer la présence de radionucléides principalement dans les urines et les selles humaines. Cette méthode nécessite donc de recueillir les urines ou les fèces sur une période de 24 à 72 heures, puis de les traiter chimiquement pour les concentrer et en extraire les radionucléides

d'intérêt avant de pouvoir les mesurer. Les méthodes de traitement chimique et de comptage sont adaptées aux radionucléides recherchés. Elles permettent de détecter et mesurer de nombreux radionucléides, y compris les émetteurs de rayonnement alpha comme l'uranium ou les émetteurs de rayonnement bêta comme le strontium 90. Néanmoins, les analyses prennent beaucoup de temps (jusqu'à une semaine pour obtenir un résultat) et ne peuvent être réalisées qu'en laboratoire spécialisé.



LES RÉSULTATS ET LES GRANDEURS

Pour l'anthroporadiométrie tout comme pour la radiotoxicologie, le résultat est exprimé en becquerel (Bq, activité totale du corps), en Bq d'activité excrétée par jour, ou en Bq/kg, pour chacun des radionucléides détectés. À partir de ces valeurs, un médecin peut évaluer l'exposition interne de la personne, à l'aide d'hypothèses (date et durée de l'exposition, voies d'exposition) et de méthodes de calcul spécifiques. Cette exposition est alors exprimée en millisievert (mSv).

Les deux méthodes sont complémentaires. La radiotoxicologie est généralement réalisée pour les personnes ayant eu un résultat d'anthroporadiométrie montrant une contamination interne significative. La radiotoxicologie peut permettre de détecter des radionucléides spécifiques ou en très faibles quantités.

LES ORDRES DE GRANDEUR

En situation normale (donc en absence d'accident nucléaire), une personne de 70 kg contient environ 9 000 Bq de radioactivité, liés principalement à la présence de potassium 40 et de carbone 14. Lors d'une anthroporadiométrie, plus de 90 % de l'émission gamma détectée provient du potassium 40. Les autres radionucléides détectés, très minoritaires, sont principalement le thorium, l'uranium et leurs descendants.

En situation post-accidentelle, la contamination interne dépendra fortement de l'alimentation de la personne. Si une personne consomme fréquemment des aliments fortement contaminés (champignons, gibier, etc.), alors les niveaux de contamination détectés peuvent être élevés, plusieurs dizaines de milliers de Bq (corps entier), surtout de césium 137.

En voyage de travail dans une zone contaminée entre 2014 et 2018

« Je suis allé travailler en Biélorussie dans un village à proximité de la zone d'exclusion à sept reprises. Dans ce village, les habitants dépendent en grande partie des produits de leur potager et de leur verger pour leur alimentation quotidienne. Avec le temps, ils ont pris l'habitude de mesurer la contamination des produits de leur jardin avec un spectromètre gamma mis à leur disposition par le dispensaire du village. Cela leur permet de comparer les valeurs obtenues avec les valeurs recommandées par les autorités et de décider par eux-mêmes si ces produits peuvent être consommés ou non. Généralement, leur exposition interne ne dépasse pas 1 mSv par an.

Le but de ces voyages était d'observer la façon dont les habitants ont développé cette culture de radioprotection dans leur vie quotidienne et comment ils gèrent les produits de leur potager. J'ai été invité à plusieurs reprises à déjeuner ou dîner chez les habitants. Comment refuser ? Et bien entendu, hors de question de demander si les produits utilisés pour préparer le repas avaient été mesurés avant de les cuisiner.

À chaque retour de voyage, j'ai passé une anthroporadiométrie. Certaines d'entre elles ont montré une contamination au césium 137. Généralement faible, quelques centaines de Bq de césium 137, ce qui représente une exposition faible, de l'ordre de quelques fractions de microsievert. Sans risque pour ma santé, donc. Et ce césium 137 a été éliminé naturellement, en quelques semaines. »

M. B., expert en radioprotection.

Mesurer la radioactivité dans l'eau

Difficulté ++++

Investissement €€€€€

Hors contexte d'accident nucléaire, la radioactivité des eaux du robinet est régulièrement contrôlée dans le cadre de la surveillance sanitaire. Les activités alpha totales et bêta totales ainsi que les activités de certains radionucléides comme le tritium et le radon sont prises en compte (voir encadré). Une évaluation du risque est ensuite réalisée sur la base d'une consommation d'eau de 2 litres par jour pendant un an. En situation normale, les niveaux de radioactivité sont faibles, et ils ne peuvent être mesurés que dans des laboratoires spécialisés. En situation normale, la mesure de la radioactivité dans l'eau avec des moyens accessibles au public (spectromètres gamma de terrain par exemple) ne donnerait aucune information utile.

À la suite d'un accident nucléaire, la mesure de l'eau du robinet est une haute priorité pour les autorités. Le principe est que l'eau n'est distribuée au robinet que lorsqu'elle est potable. Néanmoins, il est possible de mesurer la radioactivité de l'eau soi-même, surtout pour mesurer des radionucléides émetteurs de rayonnement gamma, présents potentiellement dans l'eau des puits ou des retenues d'eau (étangs, piscines). Dans tous les cas, cette mesure reste technique, difficile et la sensibilité des appareils accessibles au public ne permettrait de détecter une contamination de l'eau qu'à des niveaux supérieurs à 10 Bq/L.

LES APPAREILS DISPONIBLES

La mesure de certains radionucléides dans les eaux est possible en utilisant un spectromètre gamma pour la mesure par exemple du césium 134 ou du césium 137 (voir l'**annexe 2** « La spectrométrie »). Il existe des appareils avec des contenants spéciaux pour mesurer de l'eau et d'autres liquides, permettant de placer le liquide autour du détecteur utilisé. Ces contenants spéciaux améliorent la sensibilité de la mesure, mais ne sont pas indispensables.

LES CONSEILS SUR LA MESURE

Le volume de liquide à mesurer est déterminé par la forme de la chambre de comptage. Il est important de connaître ce volume afin de pouvoir faire des comparaisons d'une mesure à l'autre. Pour être comparable, il est important de mesurer chaque fois de la même façon : mesurer sans eau le bruit de fond radiologique (cette valeur doit être retirée du résultat après) et utiliser un conteneur du même volume à chaque mesure.

Une mesure de l'eau dans un spectromètre gamma sert plutôt à mesurer les contaminants principaux d'un accident nucléaire comme le Cs 137, le Cs 134 et l'I 131. Voir également l'**annexe 2** « La spectrométrie ».

CE QUE CES APPAREILS NE PEUVENT PAS MESURER

La mesure du tritium dans l'eau : cette mesure doit être faite dans un laboratoire spécialisé, il n'existe pas d'instrument grand public permettant cette mesure.

La mesure de l'activité alpha globale et bêta globale dans les eaux est assez difficile, l'eau arrêtant elle-même les rayonnements ionisants en agissant comme un écran (voir l'**annexe 1** « Qu'est-ce que la radioactivité ? »).



ATTENTION

L'absence de détection de radioactivité dans l'eau avec un appareil « grand public » ne permet pas d'exclure la présence anormale de radioactivité due à un accident nucléaire dans cette eau.

LES RÉSULTATS (FORMAT, GRANDEURS)

Les appareils de mesure peuvent donner un résultat avec différentes unités :

- Les coups par seconde (CPS) ou par minute (CPM) : il s'agit d'une mesure directe de la radioactivité, assimilable au décompte des désintégrations dans un temps donné.
- Les becquerels par litre (Bq/L) : il s'agit d'une mesure de la radioactivité dans un volume donné et pour un radionucléide donné.

LES ORDRES DE GRANDEUR

Les niveaux de référence des contrôles réglementaires sont très bas et non mesurables avec des instruments de terrain.

À la suite de l'accident de Fukushima, les autorités japonaises ont réalisé des mesures de trois radionucléides émetteurs de rayonnement gamma, l'iode 131, le césium 134 et le césium 137 dans l'eau des rivières de la préfecture de Fukushima sur 50 sites différents. Ces mesures ont été réalisées entre juin 2011 et novembre 2012. Les résultats ont montré une activité maximale de moins de 5 Bq/L d'eau pour les césiums 134 et 137 et de 0,15 Bq/L pour l'iode 131, avec une tendance à la baisse pour retrouver des niveaux de bruit de fond radiologique en fin de campagne de mesure.

Par ailleurs, les autorités japonaises ont mis en place des seuils maximaux de contamination de l'eau de boisson en mars 2011. Ces seuils étaient de 300 Bq/L pour l'iode 131 et de 200 Bq/L pour le césium 137. En avril 2012, les seuils ont été révisés à la baisse à 10 Bq/L pour le césium 137 dans l'eau de boisson.

Le contrôle sanitaire de l'eau en France

« La réglementation en vigueur sur les contrôles de contamination radioactive est constituée principalement par deux arrêtés (voir les références ci-dessous), qui tiennent compte de la directive européenne (Euratom 2013-51 « directive eau ») pour les méthodes de contrôle et les limites de contamination. Le contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine concernant la qualité radiologique de l'eau distribuée repose sur cinq paramètres : l'activité alpha globale, l'activité bêta globale résiduelle, le tritium, la dose indicative (DI) et le radon pour les eaux d'origine souterraine.

Pour chacun de ces indicateurs, la réglementation indique une valeur qui oblige en cas de dépassement à procéder à une analyse de radionucléides spécifiques. Les valeurs sont de 0,1 Bq/L pour l'activité alpha totale, de 1 Bq/L pour l'activité bêta globale et de 100 Bq/L pour le tritium.

La dose indicative correspond à la dose résultant d'une ingestion, pendant un an, de tous les radionucléides naturels et artificiels détectés dans une eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion du tritium, du potassium 40, du radon et de ses descendants à vie courte. Le calcul de dose (DI) est effectué pour des adultes sur la base d'une consommation de 730 litres d'eau par an. La valeur de référence de la DI est de 0,1 mSv/an. En cas de dépassement de cette valeur de référence, des analyses pour déterminer l'origine de la contamination sont mises en œuvre.

Arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

Arrêté du 12 mai 2004 modifié fixant les modalités de contrôle de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine.

05

LES ANNEXES

Qu'est-ce que la radioactivité ?

La radioactivité a été découverte par H. Becquerel en 1896. C'est la propriété qu'ont certains noyaux atomiques instables de se transformer spontanément en émettant des rayonnements ionisants.

Les atomes, constituants élémentaires de toute la matière, sont pour la plupart dans un état stable. Cependant, certains sont dans un état instable par excès d'énergie. Ce sont des isotopes radioactifs. Ils sont souvent désignés par le nom de l'atome stable, le carbone par exemple, suivi par un chiffre, carbone 14 par exemple. Cela permet de faire la différence entre le carbone stable, de masse atomique 12, et le carbone 14, son isotope radioactif. Les premiers atomes radioactifs ont été découverts par Pierre et Marie Curie, en 1898. Il s'agit du radium et du polonium. D'autres sont plus particulièrement importants en situation d'accident nucléaire, comme le strontium 90, l'iode 131, le césium 134 et le césium 137. Ce sont tous des émetteurs de rayonnement gamma.

LES DIFFÉRENTES SORTES DE RAYONNEMENTS IONISANTS

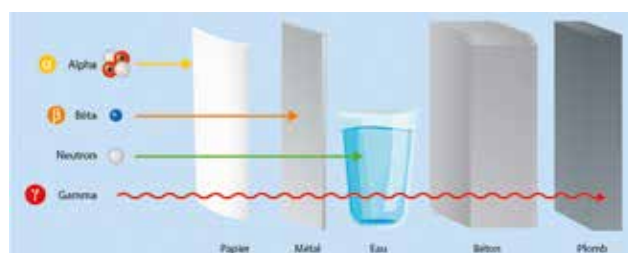
Ces atomes radioactifs, pour retrouver leur stabilité, doivent libérer leur énergie en trop. Cette énergie est libérée sous forme de rayonnement ionisant. Un rayonnement ionisant a la particularité d'arracher ou de déplacer des électrons aux atomes rencontrés, ce qui peut provoquer des changements de la structure de la matière irradiée. Il existe trois formes principales de rayonnements ionisants, les rayonnements alpha (ou α), les rayonnements bêta (ou β) et les rayonnements gamma ou X. Chacun de ces trois types de rayonnements ionisants a des caractéristiques différentes :

- Le rayonnement alpha est un petit noyau composé de deux protons et deux neutrons ayant beaucoup d'énergie. Étant donnée sa taille et sa charge électrique, il est facilement arrêté par quelques centimètres d'air ou par une feuille de papier. Il est également arrêté par une fine pellicule d'eau. L'énergie transmise à la matière rencontrée est donc libérée dans un tout petit volume, ce qui peut induire des dommages importants et circonscrits dans la matière vivante.

Figure 1. Absorption des rayonnements ionisants dans la matière. Schématiquement, plus la particule est grosse, plus elle est facile à arrêter. Le rayonnement gamma, qui n'est pas une particule, mais une onde, est le plus difficile à arrêter.



- Le rayonnement bêta est un électron (ou positon), c'est-à-dire une petite particule, qui a moins d'énergie que le rayonnement alpha. De plus, cet électron (ou positon) a une charge électrique. C'est donc une particule qui est rapidement arrêtée par quelques centimètres ou dizaines de centimètres d'air ou par une épaisseur de plastique de 1 centimètre, et qui transmet son énergie dans un volume restreint. Cependant, la longueur du parcours d'un rayonnement bêta dépend de l'énergie, qui est très variable selon les radionucléides.
- Les rayonnements gamma et X sont une onde énergétique. Ces rayonnements ne peuvent être freinés que par des matériaux denses, en forte épaisseur : plomb, tungstène. Ils transmettent leur énergie sur de plus grandes distances que les deux autres types de rayonnements ionisants.



Lorsqu'ils libèrent leur énergie en excédent, les atomes radioactifs émettent en général plusieurs types de rayonnements ionisants différents de façon simultanée. Ainsi, de l'iode 131 qui se désintègre peut émettre à la fois un rayonnement gamma et un rayonnement bêta. D'autres atomes n'émettent qu'un seul type de rayonnement. Ainsi, le tritium et le carbone 14 sont des émetteurs purs de rayonnement bêta, l'uranium 238 et le radon 222 sont des émetteurs purs de rayonnement alpha.

LE PHÉNOMÈNE DE DÉSINTÉGRATION RADIOACTIVE ET LES CHAÎNES DE DÉSINTÉGRATION

En libérant cet excédent d'énergie, les atomes se transforment en un autre atome. C'est la désintégration radioactive. Le nouvel atome formé, appelé descendant, peut être stable. Par exemple, l'iode 131, en émettant successivement un rayonnement bêta puis un rayonnement gamma, se désintègre en xénon 131, lui-même stable. Ce descendant peut lui-même être radioactif et donner par désintégration radioactive un nouvel atome, qui lui-même peut être stable ou pas, et ainsi de suite. C'est la chaîne de désintégration radioactive. Ainsi, le césium 137 se désintègre en baryum 137 métastable (^{137m}Ba) par émission d'un rayonnement bêta. Le baryum 137 m, très instable, se désintègre presque instantanément en baryum 137, stable, par émission d'un rayonnement gamma. Ce rayonnement gamma émis par le baryum 137 m est utilisé pour la détection et la mesure du césium 137.

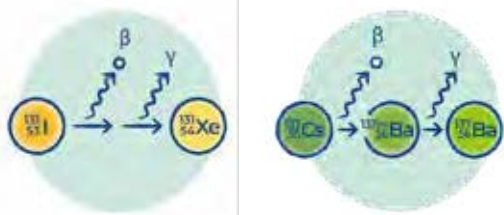
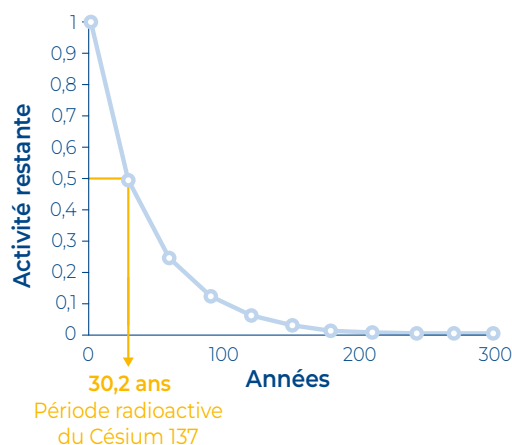


Figure 2. Chaînes de désintégration de l'iode 131 (à gauche) et du césium 137 (à droite).

LA DEMI-VIE DES RADIONUCLÉIDES

La désintégration des radionucléides est progressive : le nombre d'atomes radioactifs diminue au fil du temps. Chaque radionucléide a sa propre vitesse de désintégration qui lui est spécifique. C'est la période radioactive



Certaines chaînes de désintégration peuvent comporter de nombreux descendants. La chaîne de filiation de l'uranium 238 comporte 14 descendants avant d'arriver au plomb 206, stable. Or, chacun de ces descendants peut se désintégrer en émettant différents types de rayonnements ionisants, alpha, bêta ou gamma. Il en résulte que, si le premier atome à se désintégrer n'émet que du rayonnement alpha difficile à détecter, comme l'uranium 238, le premier descendant lui, peut émettre un rayonnement plus facile à détecter. C'est par exemple le cas du thorium 234, premier descendant de l'uranium 238, qui émet un rayonnement bêta. Il est alors plus facile de détecter l'uranium 238 de façon indirecte, en mesurant les rayonnements bêta émis par le thorium 234.

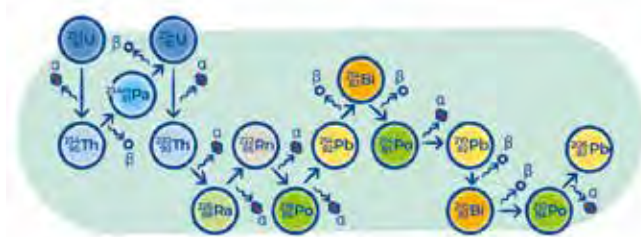


Figure 3. Exemple de la chaîne de désintégration de l'uranium 238.

du radionucléide appelé aussi demi-vie. Elle se définit comme étant le temps nécessaire pour que la moitié des atomes radioactifs se soient désintégrés. Les demi-vies sont très variables, de quelques fractions de seconde à plusieurs milliards d'années. Ainsi, l'iode 131 a une demi-vie de 8 jours, le césium 137 a une demi-vie de 30 ans, l'uranium 238 a une demi-vie de 4,5 milliards d'années. Le radionucléide naturel le plus fréquent sur terre, le potassium 40, a une demi-vie de 1,25 milliard d'années.

Figure 4. Exemple de la décroissance radioactive du césium 137. Le césium 137 a une demi-vie de 30 ans environ, c'est-à-dire qu'il faut 30 ans pour que la moitié du césium 137 ait disparu. Au bout de 60 ans, les trois-quarts du césium 137 auront disparu, et ainsi de suite. Au bout de 300 ans (soit 10 demi-vies), la quantité de césium 137 initiale aura diminué d'un facteur 1 000 environ.

La spectrométrie

La spectrométrie est la mesure du spectre d'un phénomène physique, c'est-à-dire sa décomposition sur une échelle d'énergie, de fréquence ou de longueur d'onde. Initialement, ce terme de spectrométrie s'appliquait à la décomposition de la lumière visible à l'aide d'un prisme, permettant ainsi de visualiser l'ensemble des longueurs d'onde, et donc des couleurs. C'est ce principe de décomposition de la lumière du soleil par les gouttes de pluie qui est à l'origine des arcs-en-ciel.

De façon similaire la spectrométrie est la mesure des énergies des rayonnements ionisants émis par un radionucléide. En effet, chaque radionucléide émet un ensemble de rayonnements alpha, bêta ou gamma, qui lui est propre. De plus, chaque rayonnement émis possède un niveau d'énergie qui lui est spécifique. La spectrométrie permet donc d'identifier un radionucléide par la détection des rayonnements ionisants d'énergie spécifique à ce radionucléide. La quantité d'énergie mesurée à un niveau donné permet aussi de déterminer la quantité de radionucléides présente dans

l'échantillon. La spectrométrie est donc une technique qui permet à la fois d'identifier un radionucléide par les rayonnements ionisants qu'il émet et de quantifier ce radionucléide par la quantité d'énergie émise par l'échantillon. L'identification et la quantification des radionucléides présents dans l'environnement sont donc essentielles pour évaluer les risques d'exposition, en particulier en situation post-accidentelle.

Il existe deux méthodes de spectrométrie pour la détection et la mesure des radionucléides. Chacune de ces méthodes est adaptée à un type de rayonnement. On parle alors de spectrométrie alpha ou de spectrométrie gamma. Il n'existe pas réellement de méthode de spectrométrie pour les rayonnements bêta, car ces rayonnements présentent un spectre d'énergie continue depuis zéro kiloélectronvolt (keV) jusqu'à l'énergie maximale du rayonnement. Ils ne sont donc que difficilement identifiables par la mesure de l'énergie du rayonnement émis.

LA SPECTROMÉTRIE GAMMA

C'est la méthode de spectrométrie la plus courante et la plus utilisée pour la détection et la quantification des radionucléides. Elle repose sur le fait que chaque rayonnement gamma émis par un radionucléide a une énergie qui lui est propre. Ainsi, la désintégration de l'iode 131 peut se faire de deux façons : soit en émettant un rayonnement gamma de 637 keV de façon minoritaire, soit en émettant un rayonnement gamma de 364 keV de façon majoritaire. La désintégration du césium 137 produit indirectement (via le baryum 137 m, voir l'**annexe 1** « Qu'est-ce que la radioactivité ? ») un rayonnement gamma de 662 keV. Donc, la détection d'un rayonnement à 637 keV et à 364 keV correspond à la présence d'iode 131 alors que la détection d'un rayonnement gamma à 662 keV indique la présence de césium 137.

De plus, les rayonnements gamma sont difficilement arrêtés par des écrans de matériaux denses comme le plomb. Il est donc aisé de les détecter depuis l'extérieur d'un objet, sans avoir à le détruire. Il s'agit donc d'une mesure non destructive. Ce principe de mesure est utilisé en particulier pour l'anthroporadiométrie ou encore pour la mesure de contamination des denrées alimentaires (voir les **fiches 7** « Mesurer la radioactivité dans les aliments » et **10** « Mesurer la radioactivité dans le corps humain »).

Les spectromètres gamma sont constitués soit d'un semi-conducteur, soit d'un scintillateur (voir la **fiche 2** « Les unités en radioprotection »). Les détecteurs les plus performants sont de type semi-conducteur utilisant généralement du germanium hyper pur (HPGe). L'inconvénient des détecteurs à cristal de HPGe est qu'ils doivent être refroidis à l'azote liquide. Il existe également des détecteurs à cristal d'iodure de sodium (NaI) qui ne nécessitent pas d'être refroidis, mais qui sont un peu moins précis.

Le principe des détecteurs à cristal de NaI est le suivant : le rayonnement gamma qui passe dans le détecteur provoque l'apparition de photons qui vont être transformés en impulsion électrique puis amplifiés par

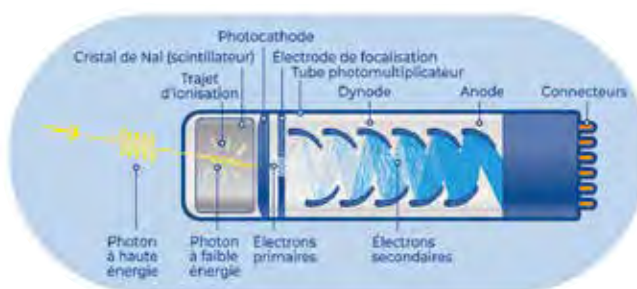


Figure 5. Principe des détecteurs à cristal de NaI

le photomultiplicateur. La hauteur du signal électrique qui en résulte est proportionnelle à l'énergie du rayonnement reçu par le cristal, et le nombre de signaux électriques généré est proportionnel au nombre de désintégrations détectées (nombre de coups). Il y a donc besoin de traiter et d'analyser le signal à l'aide de logiciels pour obtenir un spectre interprétable, c'est ce qu'on appelle la déconvolution du signal. Deux exemples de spectre de rayonnements gamma sont présentés ci-dessous, avec l'identification des raies spécifiques de plusieurs radionucléides.

D'autres méthodes de spectrométrie gamma existent, mais ne sont accessibles qu'aux laboratoires spécialisés avec des équipements lourds.

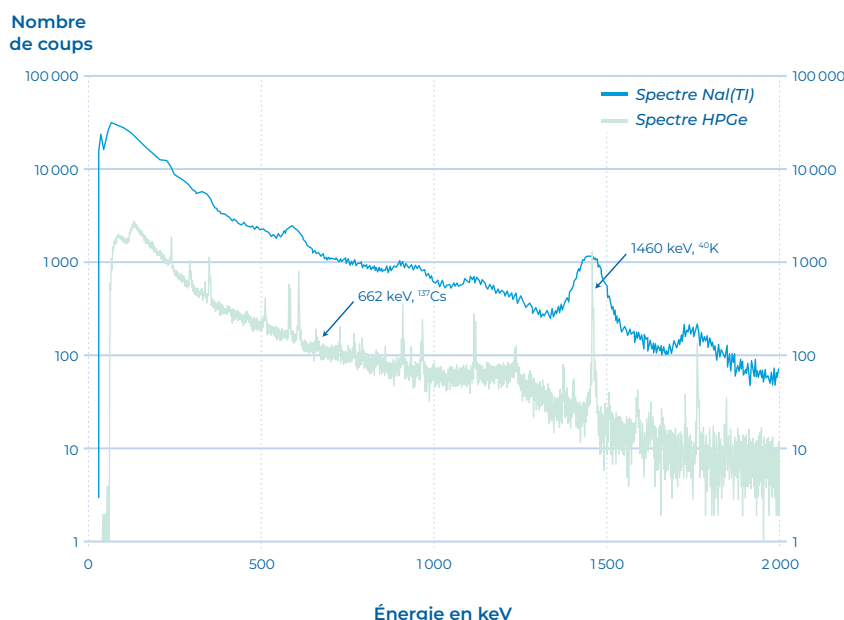


Figure 6. Comparaison des spectres d'un même objet réalisés avec un détecteur HPGe (en magenta) et un détecteur NaI (en bleu foncé). Le détecteur NaI donne des pics plus larges donc plus difficiles à distinguer les uns des autres. De plus, le détecteur NaI est moins sensible, il ne permet pas de détecter le pic dû au césium 137 qui est vu par le détecteur HPGe. Toutefois le détecteur NaI possède une meilleure efficacité de détection que le détecteur HPGe ce qui signifie qu'il nécessite un temps de comptage moins long.

LA SPECTROMÉTRIE ALPHA

Certains radionucléides émettent essentiellement des rayonnements alpha, qui peuvent éventuellement être accompagnés de rayonnements bêta ou gamma. Cependant, les rayonnements bêta ou gamma sont le plus souvent très minoritaires. Il est donc nécessaire, pour détecter certains radionucléides émetteurs de rayonnements alpha comme les différents isotopes de l'uranium, le plutonium 239, le thorium 232 ou encore le radon, d'utiliser une méthode de spectrométrie alpha. Le principe est le même que pour la spectrométrie gamma, mais en utilisant d'autres types de détecteurs, et en préparant l'échantillon avec un traitement chimique. En effet, les rayonnements alpha sont rapidement arrêtés par quelques millimètres d'air ou quelques dixièmes de millimètre de matière (voir l'**annexe 1** « Qu'est-ce que la radioactivité ? »). Il est donc nécessaire de mettre le détecteur le plus près possible de la source de rayonnement alpha. Pour ce faire, on utilise deux moyens complémentaires :

- **Le traitement chimique de l'échantillon :** il consiste à réduire et concentrer l'échantillon initial de façon à limiter l'épaisseur de matière entre le radionucléide émetteur de rayonnement alpha et le détecteur. La

méthode la plus fréquente consiste à calciner l'échantillon pour le réduire à l'état de cendres puis à traiter les cendres à l'acide pour ne conserver que des minéraux. Le résidu de traitement est alors déposé en couche mince (éventuellement par électrodéposition) sur un support métallique. Ce traitement permet de conserver tous les éléments lourds émetteurs alpha (comme l'uranium) en se débarrassant des éléments légers (carbone et hydrogène par exemple) qui n'émettent pas de rayonnement alpha.

- **La mesure dans une chambre à vide avec détecteurs à barrière de surface en cristaux de silicium.** L'échantillon est placé dans une chambre à vide, ce qui évite que le rayonnement alpha ne soit freiné par l'air. Les particules alpha sont alors détectées par le cristal de silicium, transformées en impulsions électriques puis analysées.

Le résultat est, de la même façon que pour la spectrométrie gamma, un spectre d'énergie des particules détectées qui est spécifique de chaque radionucléide émetteur de particules alpha. Néanmoins, cette méthode de spectrométrie alpha est complexe et nécessite des contrôles internes très précis si une quantification est souhaitée.

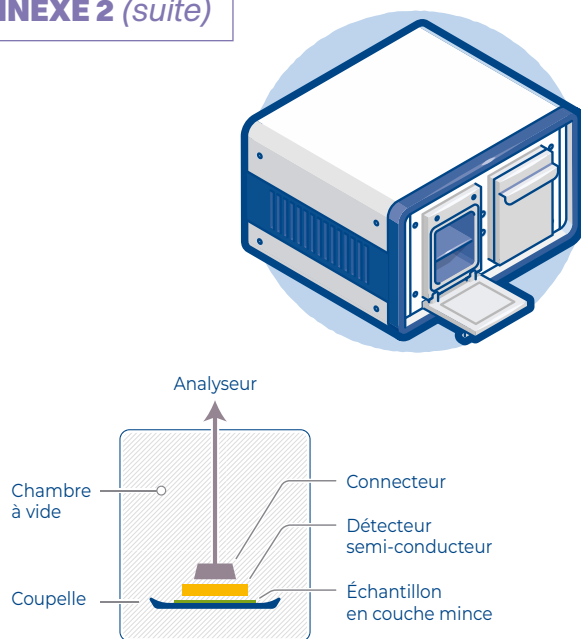


Figure 8. Principe de détection des particules alpha en chambre à vide. Plus le détecteur semi-conducteur est proche de l'échantillon, meilleure est la détection.

Figure 7. Appareil de spectrométrie alpha avec 2 chambres à vide.

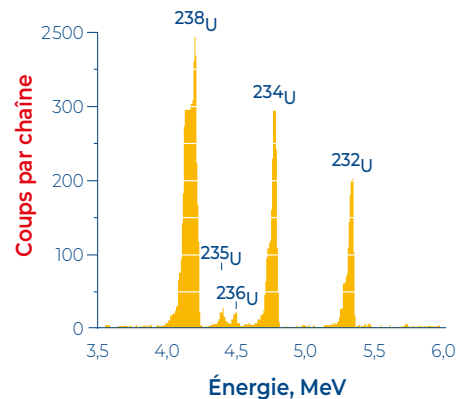


Figure 9. Spectre d'énergie des particules alpha émises par différents isotopes de l'uranium. La méthode de spectrométrie permet de discriminer les différents isotopes de l'uranium.

LES RÉSULTATS DE MESURE

La spectrométrie permet donc d'obtenir un spectre de l'énergie émise par les radionucléides. L'analyse de ce spectre permet d'identifier les radionucléides présents dans l'échantillon mesuré, chaque raie ou ensemble de raies d'énergie correspondant à un radionucléide.

Pour aller plus loin et définir la quantité de chacun des radionucléides présents dans l'échantillon, il est nécessaire de procéder à un traitement mathématique

du spectre qui consiste à mesurer la surface des pics d'énergie spécifiques d'un radionucléide, ce qui permet de remonter au nombre de désintégrations détectées au cours de la mesure. Les résultats de la mesure par spectrométrie sont donc exprimés en becquerel (Bq) pour chacun des radionucléides détectés. Connaissant la masse initiale de l'échantillon, il est alors aisé de déterminer la concentration de chacun des radionucléides détectés dans l'échantillon mesuré.

LES PRÉCAUTIONS À PRENDRE

Avant de réaliser des mesures par spectrométrie, il est important de vérifier que l'appareil de mesure est correctement étalonné et calibré. Une autre précaution importante est de faire une mesure de bruit de fond, c'est-à-dire de faire une mesure avec un récipient de mesure vide pendant 10 à 20 minutes. Une mesure du bruit de fond radiologique permet de s'assurer que l'appareil n'a pas été contaminé lors d'une mesure précédente. Elle permet également de soustraire du résultat du comptage de l'échantillon la contribution liée à la radioactivité naturelle présente dans la salle de mesure.

Généralement, la mesure de spectrométrie se fait en utilisant un récipient à usage unique pour y placer l'échantillon à mesurer. Ces récipients sont généralement des pots d'un demi-litre à un litre, fournis avec l'appareil. Cela limite les risques de contamination.

Cependant, il peut être également conseillé de protéger d'un film plastique l'intérieur des flacons de mesure. Cette protection, jetée après chaque utilisation, permet de faciliter le nettoyage du pot entre deux mesures.



ATTENTION

Le résultat de la mesure peut dépendre de la densité ⁽¹⁾ de l'échantillon. Si l'échantillon est de faible densité (poussières d'aspirateur, cendres), le résultat peut être surestimé (d'environ 20 % sur la mesure du césium). C'est pourquoi sur certains appareils, il faut sélectionner la nature du produit mesuré (liquide, végétaux secs, légumes frais, etc.). Il faut alors choisir la nature qui correspond le mieux à la densité de l'échantillon mesuré.

(1) Rapport entre la masse et le volume.

Les sites de partage des mesures de radioactivité et les laboratoires agréés

Pour la France, il existe deux sites institutionnels qui permettent de consulter les résultats des mesures de la radioactivité de l'environnement réalisées soit de façon automatique, soit par les laboratoires agréés pour la mesure de radioactivité. Ces sites sont consultables par le public, mais seuls des laboratoires agréés peuvent y déposer des mesures, ce qui est un gage de qualité. Il existe également des sites qui permettent de consulter les résultats de laboratoires associatifs agréés comme les sites de l'ACRO, de la CRIIRAD et de certaines CLI.

Par ailleurs, il existe plusieurs sites de partage des mesures de radioactivité accessibles au public, c'est-à-dire que, non seulement il est possible de consulter les résultats de mesure, mais il est également possible, selon les sites, d'y déposer ses propres mesures.

| LE SITE TÉLÉRAY

<https://teleray.asnr.fr>

Le site Internet Teleray permet de consulter les résultats de mesure du débit de dose ambiant sur le territoire national. Ces mesures sont réalisées en continu par un réseau de balises réparties sur l'ensemble du territoire national, avec une densité plus importante autour des installations nucléaires. Actuellement, ce sont plus de 400 balises qui constituent ce réseau de mesure, dont les données sont en libre accès.

Les résultats du réseau Teleray enrichis des données de surveillance des exploitants sont partagés avec le réseau européen EURDEP (<https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Rad-Data-Exchange>) qui permet de visualiser les données sur l'ensemble du territoire européen.

Ce réseau est complété par un réseau de mesure en continu de la radioactivité dans les sept grands fleuves français, le réseau Hydroteleray.



| LE RÉSEAU NATIONAL DE MESURE

Le réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement centralise l'ensemble des données de surveillance de la radioactivité de l'environnement en France, et s'assure de leur qualité et de leur harmonisation par une procédure d'agrément. L'une des forces de ce réseau est le pluralisme des sources d'information : les mesures proviennent des services de l'État et de ses établissements publics, des exploitants d'installations nucléaires et d'acteurs publics, privés ou associatifs. Depuis 2010, le site www.mesure-radioactivite.fr rend accessible à tous, en toute transparence, les 400 000 mesures réalisées annuellement en France (qui totalisaient, en 2016, près de 2 millions de données) dans les différents milieux (l'air, l'eau, le sol, la faune et la flore) et dans les produits alimentaires. Pour être versées dans la base du RNM, les mesures doivent obligatoirement être effectuées par des laboratoires agréés par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). Cet agrément est délivré sur avis d'une commission d'agrément multipartite. La liste des laboratoires agréés est disponible sur le site de l'ASNR

à l'adresse suivante : <https://reglementation-contrôle.asnr.fr/espace-professionnels/agrements-contrôles-et-mesures/listes-des-agrements-d-organismes>. Cette liste est mise à jour tous les six mois.

Certains de ces laboratoires peuvent accepter de réaliser des mesures de radioactivité pour des particuliers ou pour des associations. Ce sont généralement des laboratoires du monde associatif, comme les laboratoires de l'ACRO et de la CRIIRAD, ou des laboratoires dont c'est le cœur de métier : Algade, Eurofins, Subatech, etc.



| LE SITE OPENRADIATION

C'est dans le contexte de l'accident de Fukushima, où des citoyens japonais ont voulu se forger leur propre opinion sur le risque radiologique auquel ils étaient exposés à l'aide de dosimètres disponibles, qu'est né le projet OpenRadiation. Il permet de centraliser des mesures de débit de dose ambiant dans l'environnement réalisées par des citoyens, tant en France que dans le monde entier et les rend visibles à tous au travers d'une cartographie dynamique. Il propose à ceux qui participent à la collecte de données des outils de travail collaboratif. Le site offre également la possibilité à des groupes (associations, lycées, etc.) d'avoir des espaces dédiés pour leurs projets relatifs à la mesure de la radioactivité dans l'environnement.

Le principe est d'avoir un système ouvert, il est donc possible de réaliser des mesures à l'aide de différents radiamètres et de publier directement les résultats sur le site web. Il est également possible de saisir manuellement des données sur le site ou d'en charger via un fichier. Les données collectées sont ouvertes. En plus de son intérêt premier pour le public, la base de données pourra également être mise à profit par les scientifiques et les experts, notamment en cas de crise. Ainsi, OpenRadiation est un projet de science citoyenne.



| SAFecast

Safecast est une organisation internationale à but non lucratif dirigée par des bénévoles dont l'objectif est de créer des données environnementales utiles, accessibles et publiées gratuitement en données ouvertes.

À la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, une crise de confiance envers les mesures officielles a vu le jour. Safecast a été formé en réponse et a rapidement commencé à surveiller, à recueillir et à partager ouvertement des informations sur les rayonnements ionisants dans l'environnement. Par la suite, Safecast a également commencé à surveiller la qualité de l'air. La mission de Safecast est de fournir aux citoyens du monde entier les outils dont ils ont besoin pour s'informer en rassemblant et en partageant des données environnementales précises de manière ouverte et participative. Cette communauté est inclusive et non partisane, comprenant des personnes de tous âges et de tous horizons. Des activités de sensibilisation permettent de partager les expériences avec des individus et des groupes dans le monde entier par le biais d'ateliers, de conférences et de programmes éducatifs.



Les fiches-types de prélèvement ou de mesure

Une fiche de prélèvement ou une fiche de résultat de mesure permet de n'oublier aucun élément important pour l'interprétation des résultats de mesure. Plusieurs modèles existent sur Internet. Le premier modèle proposé ici est adapté aux prélèvements d'échantillons (végétaux, sol, eau) dans l'environnement, mais peut être adapté selon les besoins.

Le second modèle est adapté pour les mesures de débit de dose ambiant.

Dans tous les cas, les éléments de la partie supérieure de la fiche (lieu, préleveur, météo) et le descriptif de l'échantillon (ou du lieu de la mesure) doivent être conservés.

Fiche de prélèvement

LIEU DE L'ÉCHANTILLONNAGE		PRÉLEVEUR	Visa:
Date et heure: _____ Lieu: _____ Coordonnées GPS: _____ Description complémentaire du lieu: _____		Nom: _____ Prénom: _____	
DESCRIPTION ÉCHANTILLONS		MÉTÉOROLOGIE	
Nature	Échantillon	Commentaire	
Sol	Surface de prélèvement: _____		
	Profondeur de prélèvement: _____		
	Masse: _____		
Eau	☐ Eau douce ☐ Eau de mer		
	☐ De surface ☐ souterrain ☐ Eau de pluie		
	☐ Stagnante ☐ courante		
	Volume: _____		
Végétaux	Nature: ☐ Herbe ☐ Fruit/légume		
	☐ Autre (précisez): _____		
Masse de matière fraîche: _____			

Fiche de mesure de débit de dose ambiant

LIEU DE LA MESURE		MESUREUR	Visa:		
Date et heure: _____ Lieu: _____ Coordonnées GPS: _____ Description complémentaire du lieu: _____		Nom: _____ Prénom: _____			
DESCRIPTION MESURE		MÉTÉOROLOGIE			
Appareil utilisé: _____		Température: _____ Hygrométrie: _____			
N° de série: _____		Vent: _____ Couverture nuageuse: _____			
APPAREIL UTILISÉ					
Marque: _____		Autre: _____			
Modèle: _____					
N° de série: _____					
DESCRIPTION MESURE					
N°	Hauteur (au-dessus du sol)	Nature du sol	Résultat	Unité (sievert ou mSv/h)	Moyenne

Fiche de prélèvement

LIEU DE L'ÉCHANTILLONNAGE		PRÉLEVEUR	Visa:
Date et heure: _____ Lieu: _____ Coordonnées GPS: _____ Description complémentaire du lieu: _____ _____ _____		Nom: _____ Prénom: _____	
DESCRIPTION ÉCHANTILLONS		MÉTÉOROLOGIE	
		Température: _____ Vent: _____	Hygrométrie: _____ Couverture nuageuse: _____
Nature	Échantillon	Commentaire	
Sol	Surface de prélèvement: _____	_____	
	Profondeur de prélèvement: _____	_____	
	Masse: _____	_____	
Eau	☐ Eau douce ☐ Eau de mer ☐ De surface ☐ Souterraine ☐ Eau de pluie ☐ Stagnante ☐ Courante	_____	
	Volume: _____	_____	

Végétaux	Nature: ☐ Herbe ☐ Fruit/légume	_____	
	☐ Autre (précisez): _____	_____	
	Masse de matière fraîche: _____	_____	

Fiche de mesure de débit de dose ambiant

LIEU DE LA MESURE	MESUREUR	Visa :
Date et heure : _____	Nom : _____	
Lieu : _____	Prénom : _____	
Coordonnées GPS : _____		
Description complémentaire du lieu : _____ _____ _____ _____	MÉTÉOROLOGIE Température : _____ Hygrométrie : _____ Vent : _____ Couverture nuageuse : _____	

APPAREIL UTILISÉ	
Marque : _____	Autre : _____
Modèle : _____	_____
N° de série : _____	_____

[illegible]

La surveillance de l'environnement

POURQUOI SURVEILLER L'ENVIRONNEMENT ?

La surveillance radiologique de l'environnement répond à trois objectifs principaux et complémentaires :

- Contribuer à la connaissance de l'état radiologique de l'environnement et de son évolution dans le temps et dans l'espace par la caractérisation des différents radionucléides présents.
- Contribuer à l'évaluation des expositions radiologiques dans un objectif de protection sanitaire de la population
- Contribuer par la restitution des résultats de la surveillance, par l'agrément des laboratoires de mesure et par la pluralité des acteurs, à la transparence et à la qualité de l'information de la population.

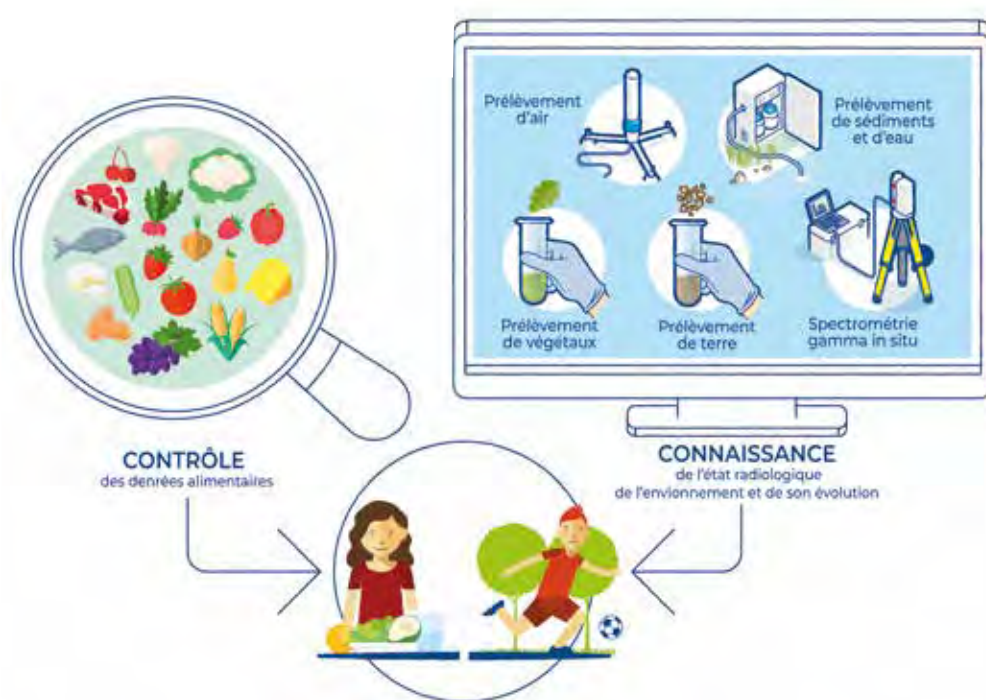


Figure 10. La surveillance de l'environnement en situation post-accidentelle aura deux composantes essentielles : à gauche, la surveillance des denrées alimentaires et de l'eau et à droite, la surveillance de l'environnement. Ces deux composantes permettent de concourir à la radioprotection de la population.

QUI PARTICIPE À LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT EN FRANCE ?

La surveillance radiologique du territoire national est assurée par l'ASNR et différents acteurs publics. Les exploitants exercent une surveillance autour de leurs installations nucléaires. Les autres acteurs publics et les associations complètent cette surveillance. Ces acteurs sont :

- Les exploitants d'installations nucléaires (Andra, CEA, EDF, Orano, etc.) qui réalisent une surveillance locale autour de leurs sites nucléaires en application de dispositions réglementaires.
- Le programme de surveillance de l'environnement à mettre en œuvre est fixé et contrôlé par l'ASNR.
- L'ASNR, les ministères (santé, agriculture, écologie, économie, etc.), les services de l'État (douanes, DGCCRF, etc.) et les autres acteurs publics (laboratoires universitaires, autres instituts d'expertise, etc.) qui réalisent des missions de surveillance et de contrôle à l'échelle du territoire national ou sur des secteurs particuliers comme la sécurité alimentaire, la qualité de l'air, etc. ;
- Les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air, les collectivités locales, les CLI, les associations de protection de l'environnement qui réalisent une surveillance indépendante des pouvoirs publics.

QUELS SONT LES APPROCHES ET LES DISPOSITIFS DE LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT ?

La surveillance radiologique de l'environnement en France s'appuie sur deux approches complémentaires :

- la télésurveillance en continu par des systèmes fixes et autonomes en réseau, permettant la transmission en temps réel des résultats. Ces dispositifs sont principalement utilisés pour donner l'alerte en cas d'accident. Parmi ces systèmes, on trouve notamment :
 - les réseaux des balises pour la surveillance de la radioactivité ambiante par mesure du débit de dose ambiant gamma (par exemple le réseau Téléray pour l'ASNR, les balises des exploitants situées autour des sites);
 - le réseau Hydrotéléray de l'ASNR pour la surveillance des principaux cours d'eau en aval de toutes les installations nucléaires et avant leur sortie du territoire national par spectrométrie gamma;
- le traitement et la mesure en laboratoire d'échantillons prélevés à proximité des installations autorisées à rejeter des radionucléides. Le prélèvement des échantillons s'effectue dans différents compartiments de l'environnement selon deux méthodes :

- par prélèvements ponctuels de matrices variées : les eaux (de pluie, douces de surface, souterraines ou marines), les indicateurs biologiques (herbe, légumes, algues), les sols et les sédiments, ainsi que les denrées alimentaires (lait et produits laitiers, viande, poissons, mollusques, crustacés, céréales, etc.);
- par prélèvements en continu, essentiellement dans le compartiment atmosphérique (aérosols, mesures de radionucléides spécifiques dans l'air comme le tritium et le carbone 14), et dans les eaux de surface (hydrocollecteurs).

Le choix des modalités de surveillance dépend de l'objectif – et donc du site et des radionucléides recherchés –, des performances attendues et des contraintes liées aux analyses (présence de radionucléides pouvant interférer avec le radionucléide à mesurer, temps de comptage, etc.).

Les dispositifs de prélèvement et de mesure déployés, et les types d'analyse effectués en France par les nombreux acteurs qui participent à la surveillance radiologique de l'environnement sont donc parfois très différents. Certains dispositifs sont adaptés aux objectifs assignés aux exploitants nucléaires dans le cadre de la surveillance réglementaire de leurs installations, tandis que d'autres acteurs tels que l'ASNR utilisent des équipements de prélèvement et des techniques d'analyse plus performants permettant d'atteindre des seuils de détection nettement plus bas.



Figure 11. Différents moyens de la surveillance radiologique de l'environnement. À gauche, une balise Teleray ; au centre, un appareil de prélèvement de l'eau de rivière ; à droite, un prélèvement de feuilles.

OÙ PEUT-ON AVOIR ACCÈS AUX MESURES RÉALISÉES DANS L'ENVIRONNEMENT ?

Le Réseau national de mesure de la radioactivité dans l'environnement (RNM), développé et géré par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, centralise l'ensemble des données agréées de surveillance de la radioactivité dans l'environnement en France et s'assure de leur qualité et de leur harmonisation.

Depuis 2010, le site www.mesure-radioactivite.fr, rend accessible à tous, les résultats des 400 000 mesures réalisées annuellement en France par les services de

l'État et ses établissements publics, par les exploitants d'installations nucléaires et d'autres acteurs publics, privés ou associatifs.

Les exploitants mettent également en ligne sur leur propre site l'ensemble de leurs résultats, notamment dans le rapport annuel de surveillance de l'environnement.

L'exposition à la radioactivité en France

On désigne par bruit de fond radiologique l'activité des différents radionucléides présents dans l'environnement, en dehors de toute influence anthropique actuelle (industrie nucléaire, autres industries, rejets hospitaliers, etc.). Ce bruit de fond radiologique résulte d'une part de sources naturelles, et d'autre part de la rémanence d'apports anciens de radionucléides artificiels qui ont concerné l'ensemble du territoire ; il s'agit notamment des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et des retombées des accidents de Tchernobyl et de Fukushima. Ce bruit de fond radiologique contribue aux expositions radiologiques auxquelles est soumise la population.

LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE NATUREL

Le bruit de fond radiologique naturel a deux origines : les radionucléides telluriques présents sur Terre depuis sa formation et le rayonnement cosmique qui produit de manière permanente des radionucléides

cosmogéniques. Le rayonnement cosmique provient du soleil et de l'espace (autres soleils et galaxies). Il est atténué par l'épaisseur de l'atmosphère. Il en résulte donc que le débit de dose ambiant qu'il engendre augmente avec l'altitude.

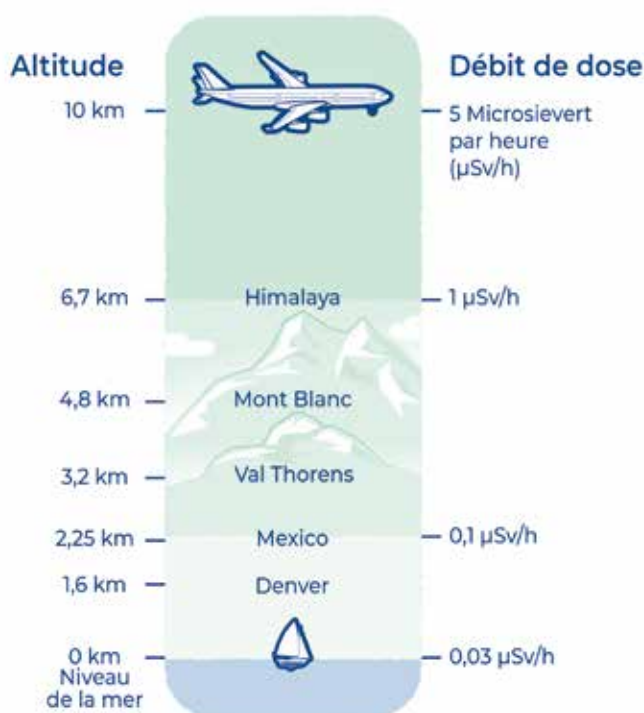


Figure 12. Évolution du débit de dose ambiant avec l'altitude (μSv/h)

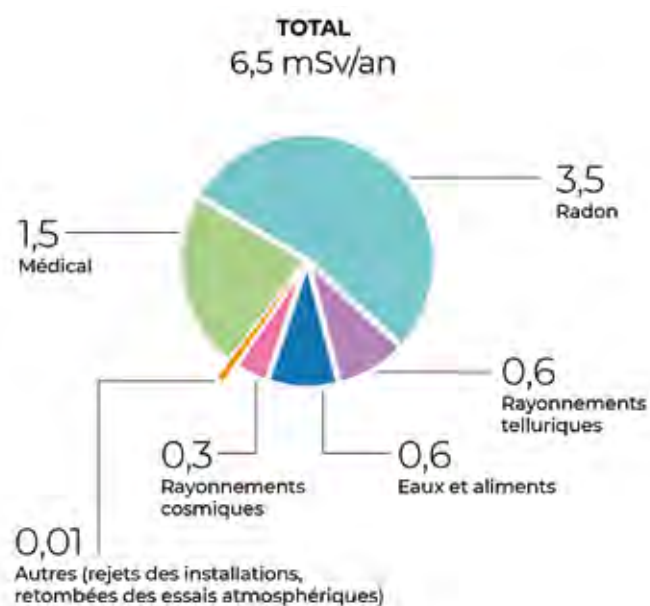
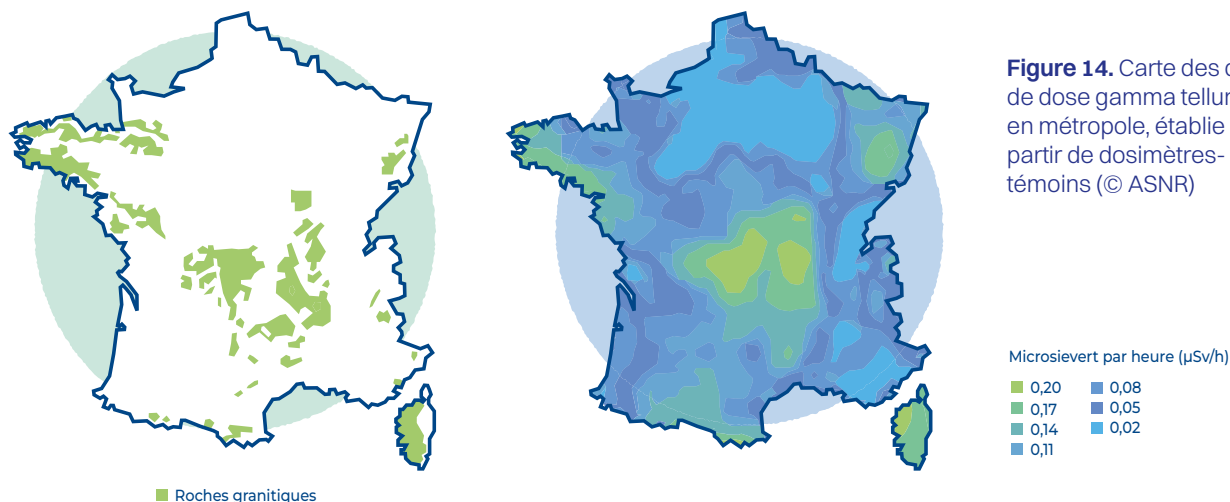


Figure 13. Exposition moyenne aux rayonnements ionisants de la population en France (mSv/an) (Source IRSN 2021)

Les radionucléides telluriques sont présents sur Terre depuis sa formation. Il s'agit principalement du potassium 40 et des radionucléides issus des chaînes de désintégration de l'uranium 238, de l'uranium 235 et du thorium 232. Présents dans l'écorce terrestre, ces quatre radionucléides persistent encore aujourd'hui en raison de leurs très longues périodes radioactives. Au total, c'est une quarantaine de radionucléides telluriques qui sont présents dans toutes les composantes de l'environnement : les sols, l'air, les eaux, la flore, la faune et l'être humain.



LE RADON

Le radon est un gaz radioactif naturel inodore, incolore et inerte, présent partout dans les sols, mais plus fortement dans les sous-sols granitiques et volcaniques. Il est en effet issu de la désintégration de l'uranium et du thorium. Ce gaz peut s'accumuler dans les espaces clos comme dans les parties basses des bâtiments (caves) et les cavités souterraines (mines, champignonnières, grottes). En France, il constitue la principale source d'exposition aux rayonnements ionisants et le second facteur de risque de cancer du poumon après le tabagisme, ce qui justifie la mise en œuvre d'une politique de prévention.

Faire une mesure du radon est le seul moyen de connaître son exposition. Cette mesure est simple et peu coûteuse. Elle s'effectue à l'aide d'un dispositif de mesure passive (dit dosimètre radon) disponible par Internet auprès de fournisseurs. Il est possible de se procurer la liste des fournisseurs de dosimètres auprès de votre agence régionale de santé.



Vous pouvez consulter les sites Internet suivants :

<https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/radon>
<https://recherche-expertise.asnr.fr/savoir-comprendre/environnement/risque-radon-10-questions>
<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F20599>

LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE RÉMANENT DES RETOMBÉES ANCIENNES

De 1945 à 1980, plus de 500 essais atmosphériques d'armes nucléaires ont été réalisés par les États-Unis, l'Union soviétique, la Grande-Bretagne, la Chine et la France. L'essentiel des retombées radioactives s'est produit sur deux périodes : de 1951 à 1958 et de 1961 à 1962 avant le moratoire de 1963. Ces essais ont libéré dans l'atmosphère de nombreux radionucléides dont une vingtaine était régulièrement mesurée dans l'air en France, dans les eaux de pluie et diverses denrées alimentaires. Il ne subsiste aujourd'hui que le tritium, le carbone 14, le césium 137, le strontium 90, les isotopes 238, 239, 240 et 241 du plutonium et l'américium 241 provenant de la désintégration du plutonium 241.

Les masses d'air contaminées par l'accident de Tchernobyl ont affecté la France au début de mai 1986, principalement entre le 1^{er} et le 5 mai 1986. En raison des pluies très variables survenues durant cette période dans l'est du pays, les dépôts radioactifs, notamment ceux d'iode 131 et de césium 134 et 137 ont été plus importants que dans le reste du pays et hétérogènes. Les retombées atmosphériques en France métropolitaine des radionucléides issus de l'accident de Fukushima, survenu le 11 mars 2011 au Japon, ont été faibles et fugaces : des traces d'iode 131, césiums 134 et 137 ont été détectées de fin mars jusqu'en mai 2011 dans l'air, les eaux de pluie et dans quelques denrées (légumes-feuilles, lait, etc.) avec des activités 500 à plus de 1 000 fois inférieures à celles mesurées en France début mai 1986 à la suite de l'accident de Tchernobyl. L'influence de ces dépôts n'est plus mesurable depuis mi-2011.

Sur les 2/3 de l'ouest du pays, le césium 137 provient essentiellement voire majoritairement des essais nucléaires. Dans les zones de l'est de la France où il a plu début mai 1986, le césium provient très majoritairement des retombées de l'accident de Tchernobyl.

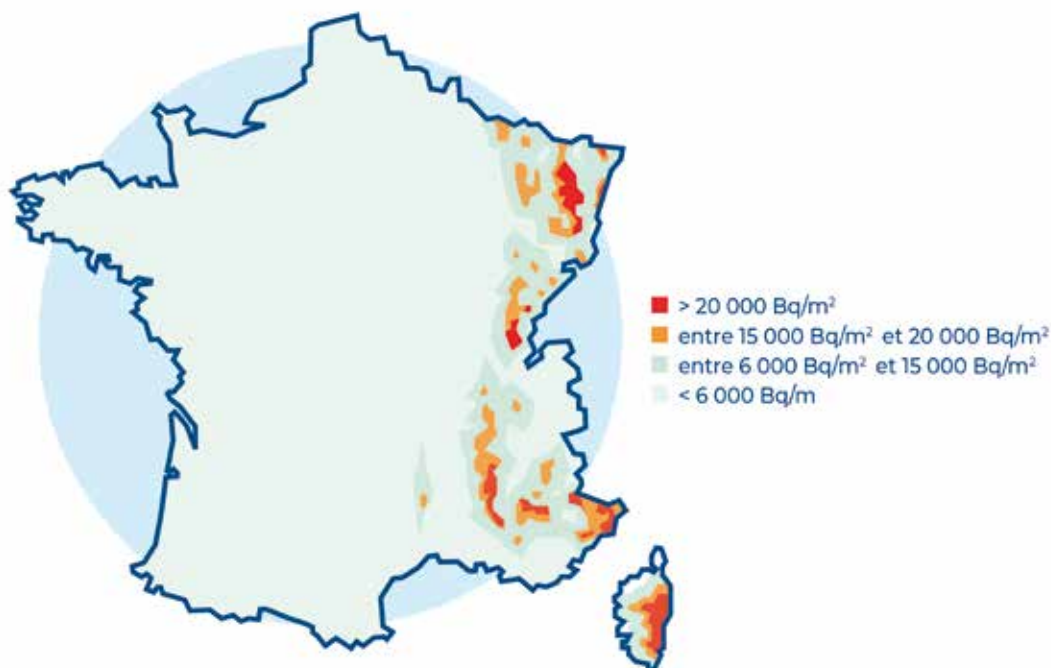


Figure 15. Carte des activités surfaciques actuelles du césium 137 sur les sols de la métropole française (Bq/m²) liées à la rémanence des retombées des essais d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl (© IRSN 2019)

Les effets sur la santé

COMMENT EST-ON EXPOSÉ À LA RADIOACTIVITÉ ?

La radioactivité est présente partout dans l'environnement (voir l'**annexe 5** « La surveillance de l'environnement »), dans les sols, les plantes (arbres, fruits, légumes), les animaux (poissons, bovins, etc.) et l'être humain. L'homme est donc exposé par deux voies principales, l'exposition externe et l'exposition interne.

En situation post-accidentelle, l'exposition externe est due aux radionucléides déposés dans l'environnement, qui émettent un rayonnement ionisant suffisamment énergétique pour atteindre à distance le corps humain. L'exposition interne est essentiellement due à l'ingestion de denrées alimentaires contaminées : fruits ou légumes

cultivés dans une zone contaminée, produits d'origine animale (lait, viande, œufs) provenant d'animaux hébergés dans une zone contaminée ou nourris avec des aliments contaminés. Il existe également le cas de la contamination externe ou contamination cutanée, lorsque des radionucléides se déposent directement sur la peau. Ce peut être le cas dans certaines situations particulières, comme le contact de la main avec une surface contaminée ou la baignade dans une retenue d'eau contaminée à la suite d'un accident.

La possibilité de contamination par inhalation, élevée en phase de rejets d'un accident, est faible en phase post-accidentelle, puisqu'elle suppose la remise en suspension de substances radioactives.



Figure 16. Les trois voies d'exposition principales en situation post-accidentelle : à gauche l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés ; au centre, l'exposition externe ; à droite, l'exposition cutanée par contact avec une surface contaminée.

QUELLES SONT LES PATHOLOGIES POSSIBLES ?

Les effets nocifs de l'exposition aux rayonnements ionisants peuvent être regroupés en deux catégories générales :

- Les effets déterministes, dus en grande partie à la mort des cellules à la suite d'une exposition à de fortes doses ;
- Les effets stochastiques, comprenant les cancers résultant de la mutation dans des cellules somatiques et les effets héréditaires éventuels chez la descendance du fait de la mutation dans des cellules reproductives (germinales).

Les effets déterministes sont des effets à seuil, c'est-à-dire qui apparaissent de manière certaine

au-dessus d'un niveau de dose qui varie de quelques centaines de mSv à plus d'un Sv selon l'organe et le type d'effet. Ces niveaux de dose ne sont rencontrés que très rarement, et uniquement dans des situations d'accident grave.

La gravité de ces effets augmente avec la dose. Les effets déterministes sont généralement précoces, apparaissant de quelques jours à quelques semaines après l'exposition. Il s'agit par exemple de brûlures cutanées, de stérilité (temporaire ou définitive), de chute du nombre de cellules sanguines (globules blancs, plaquettes et plus tardivement globules rouges), de syndrome gastro-intestinal. Certains effets déterministes, comme les cataractes ou les pathologies cardiovasculaires, peuvent survenir à long terme (plusieurs années) après l'exposition.

Les effets stochastiques sont des effets qui se produisent de manière aléatoire parmi des personnes exposées. Ces effets sont considérés (par principe de précaution) comme étant sans seuil, c'est-à-dire pouvant se produire même pour de faibles doses reçues. Contrairement aux effets déterministes, c'est la fréquence d'apparition des effets stochastiques qui augmente avec la dose et non leur gravité. Jusqu'à présent, la démonstration de l'apparition d'effets stochastiques n'a pas pu être faite pour des expositions inférieures à 100 mSv. Les cancers sont les principaux effets stochastiques. Les effets cancérigènes des rayonnements ionisants ont été démontrés chez les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et Nagasaki ainsi que dans d'autres populations exposées à des sources, environnementales, médicales ou professionnelles, de rayonnements ionisants. Pour la plupart des cancers, un excès de risque a été observé après un délai d'au moins 5 à 10 ans après l'exposition aux rayonnements ionisants. Cependant, ce temps de latence peut être plus court, par exemple pour le cancer de la thyroïde avec un délai de 5 à 6 ans, ainsi que pour la leucémie avec un délai minimum de 2 ans.

Des altérations génétiques potentiellement transmissibles à la descendance peuvent être induites par les rayonnements ionisants à la suite de l'irradiation des cellules germinales parentales. Il s'agirait donc d'effets potentiellement héréditaires. Toutefois, chez l'homme, les études épidémiologiques n'ont pas démontré d'effets héréditaires après exposition aux radiations d'un ou des deux parents. Cela ne signifie pas qu'aucun dommage n'a été occasionné, mais simplement que, s'il existe, le phénomène est trop peu fréquent pour être observable compte tenu des doses auxquelles les populations sont exposées.

LES CANCERS

Les deux principaux cancers qui sont apparus après l'accident de Tchernobyl sont le cancer de la thyroïde surtout chez les enfants et la leucémie, principalement chez les liquidateurs. Il faut noter que ces cancers sont essentiellement dus aux expositions survenues pendant les jours et semaines qui ont suivi l'accident, et lorsque les personnes n'ont pas été suffisamment protégées (pour les intervenants par le port de protections et pour la population par la mise à l'abri, l'évacuation ou la prise de comprimés d'iode stable au moment des rejets).

Les premiers cancers de la thyroïde sont apparus en 1991, 5 ans après l'accident de Tchernobyl. Ils ont été diagnostiqués en très grande majorité chez des enfants ou adolescents âgés de moins de 15 ans au moment de l'accident, et sont directement dus à la contamination par l'iode 131 pendant la phase de rejet de substances radioactives. Ce sont des cancers essentiellement de type papillaire, survenus pour des doses d'irradiation

supérieures à 100 mSv. En revanche, 8 ans après l'accident de Fukushima, aucun excès de cancer de la thyroïde n'a encore été observé chez les enfants japonais dans les études épidémiologiques japonaises. Cela est probablement dû aux doses d'irradiation plus faibles que celles reçues après l'accident de Tchernobyl.

Les leucémies sont apparues principalement chez les liquidateurs (personnes qui sont intervenues sur les installations accidentées ou dans les zones les plus contaminées après l'accident de Tchernobyl). Ces leucémies sont directement dues à l'exposition à de fortes doses, en général comprises entre 100 et 1 000 mSv. Parmi la population une augmentation du risque de survenue des leucémies chez les enfants âgés de moins de 5 ans au moment de l'accident de Tchernobyl et résidant dans les zones les plus fortement contaminées a été observée. La leucémie d'un travailleur de la centrale accidentée de Fukushima a été reconnue par le gouvernement japonais comme étant due à l'irradiation.

LES PATHOLOGIES NON CANCÉREUSES À LONG TERME

En dehors des effets déterministes précoces observés chez les personnes ayant reçu de fortes doses d'irradiation (supérieures à 1 000 mSv), les

principales pathologies radio-induites non cancéreuses apparaissent avec un temps de latence de plusieurs années. Ce sont essentiellement des pathologies cardiovasculaires et des cataractes.

LES CONSÉQUENCES SUR LA SANTÉ MENTALE

Comme à la suite de n'importe quelle catastrophe de grande ampleur, le fait d'avoir subi un accident nucléaire engendre un stress important qui peut induire des conséquences sur la santé, souvent exacerbées par la crainte d'avoir été exposé à la radioactivité et les bouleversements de la vie quotidienne pendant l'évacuation ou la mise à l'abri. Il n'y a cependant pas de lien direct avec une exposition (réelle ou avérée) à la radioactivité ni avec le niveau de contamination

du territoire. Ainsi, les parents qui s'inquiètent pour la santé de leur enfant ou les personnes ayant vu leurs habitudes de vie transformées peuvent développer un stress chronique qui se manifeste parfois par des troubles du sommeil, une irritabilité, une plus grande sensibilité aux allergies et aux infections, l'apparition de pathologies liées à des changements dans l'alimentation (diabète de type 2 par exemple), et dans les cas les plus graves, un état dépressif plus ou moins sévère.

COMMENT SE PROTÉGER ?

Il convient avant tout de respecter les consignes et recommandations émises par les autorités qui pourront consister notamment en :

- des restrictions de consommation et de commercialisation des denrées alimentaires ;
- la restriction voire l'interdiction d'accès à certaines zones compte tenu de leur niveau de contamination.

Certaines pratiques telles que brûler le bois susceptible d'être contaminé par les retombées radioactives seront également à proscrire. Plus généralement, les règles habituelles d'hygiène, si elles sont bien appliquées, permettront de limiter l'exposition à la radioactivité. Le déploiement de dispositifs permettant de mesurer soi-même la radioactivité pourrait être encouragé en cas d'accident nucléaire.

La nourriture et l'eau

COMMENT LES ALIMENTS PEUVENT-ILS ÊTRE CONTAMINÉS ?

Avant un accident nucléaire ou radiologique, les aliments contiennent généralement très peu de radioactivité d'origine artificielle (qui est principalement due aux retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires ou à la rémanence des effets d'accidents anciens, et dans une moindre mesure aux rejets des installations nucléaires en situation normale). Ainsi, au Japon, les niveaux de concentration en césium 137 avant l'accident de Fukushima étaient pour tous les aliments, à de très rares exceptions près, compris entre 0,01 et 1 Bq/kg.

Après un accident, les dépôts des particules radioactives sur les plantes ou sur les sols, puis le transfert de la radioactivité dans la chaîne alimentaire, peuvent

entraîner une forte augmentation des niveaux de concentration de la radioactivité artificielle dans les aliments. Les facteurs de transfert de cette contamination sont très variables selon la nature des sols et les espèces végétales : par exemple, certains champignons concentrent fortement la radioactivité qui se trouve dans le sol, d'autres beaucoup moins, etc.

La figure ci-dessous montre, à titre d'exemple, des niveaux de concentration en césium (134 et 137) qui ont été mesurés dans plusieurs échantillons d'aliments prélevés au Japon la première année après l'accident de Fukushima (source ASNR).

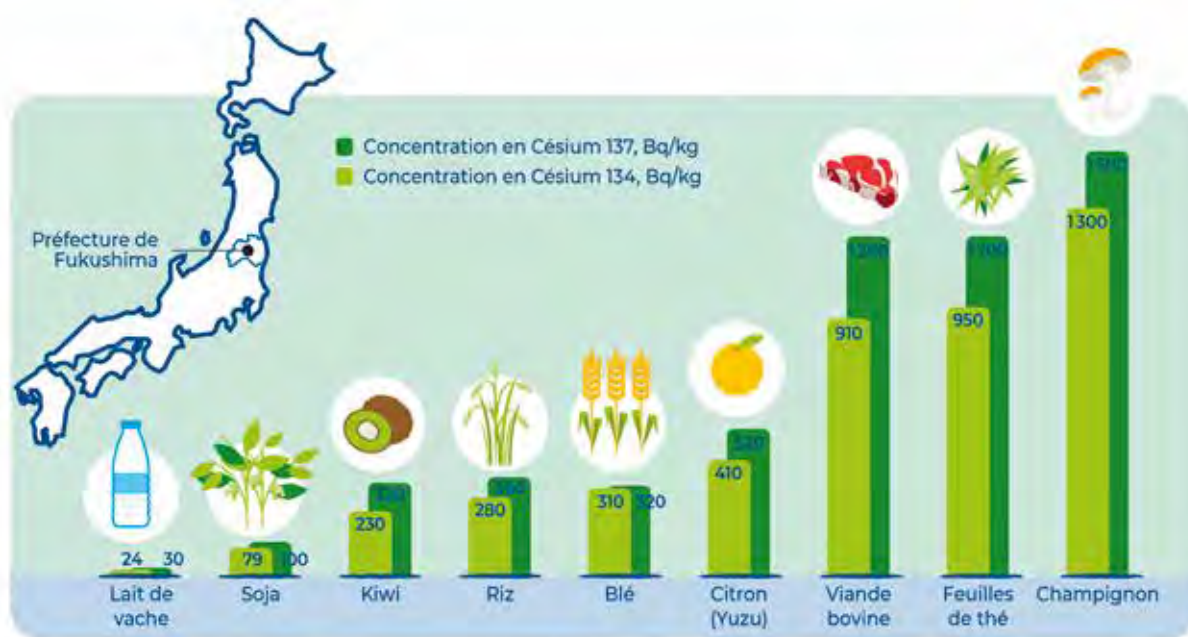


Figure 17. Niveaux d'activité massique en césium 134 et 137 mesurés dans quelques aliments la première année après l'accident de Fukushima (source ASNR)

QUELLE EST LA RÉGLEMENTATION ?

Pour protéger les consommateurs d'une exposition par voie d'ingestion, un règlement européen prévoit, en cas d'accident nucléaire, l'application immédiate de restrictions de commercialisation des denrées alimentaires dépassant des « niveaux maximaux

admissibles » (NMA) de contamination radioactive fixés pour une durée limitée. Ils sont exprimés en quantité de radioactivité par unité de masse (en becquerels par kilogramme ou en becquerels par litre) et ils dépendent des radionucléides considérés, des types d'aliments et de l'âge des consommateurs ⁽²⁾.

(2) Règlement Euratom 2016/52 du 15 janvier 2016 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique.

Ultérieurement (dans les semaines ou mois qui suivent l'accident), si l'ampleur de l'accident le justifie, ces NMA peuvent être adaptés (à la baisse ou, plus exceptionnellement, à la hausse), en fonction des circonstances et notamment des habitudes alimentaires des personnes les plus exposées. En effet, ce sont les personnes qui vivent en semi-autarcie, disposant par exemple d'un potager, d'un verger, celles pratiquant la pêche en rivière, la cueillette ou la chasse en forêt, ou encore celles par exemple qui consomment certaines denrées, du lait frais ou des produits laitiers issus

des marchés locaux ou de leur propre fabrication – c'est-à-dire des produits qui sont en dehors du système de commercialisation – qui sont potentiellement les plus exposées.

Le strict respect des NMA (voir figure ci-après) permet d'assurer dans la plupart des cas (c'est-à-dire sauf comportement alimentaire très différent de la moyenne de la population) que les consommateurs recevront une dose inférieure à 1 mSv/an par ingestion.

COMMENT SONT CONTRÔLÉS LES ALIMENTS ?

Le niveau de contamination des produits alimentaires commercialisés est contrôlé par les autorités compétentes (DGCCRF, DDPP, ASNR, laboratoires du monde associatif, etc.). En ce qui concerne les autres produits – non contrôlés – il convient à chacun d'adapter son comportement alimentaire pour éviter toute exposition inutile ; par exemple, autant que faire se peut, il faut éviter de manger des produits issus de la cueillette, de la chasse, de la pêche en eau douce et – s'ils ne peuvent pas être mesurés correctement et régulièrement – les fruits et les légumes du potager, les

œufs, le miel, le lait de vache ou de chèvre et les produits laitiers (fromages, yaourts, crèmes, etc.) artisanaux qui ne sont pas soumis à un contrôle réglementaire.

La mesure de la radioactivité dans les aliments peut se faire avec des appareils (spectromètres) spécifiques dont l'utilisation nécessite une formation préalable.

Il faut cependant souligner que la concentration de certains radionucléides (le strontium 90 par exemple) dans les aliments ne peut être mesurée que par des laboratoires spécialisés.

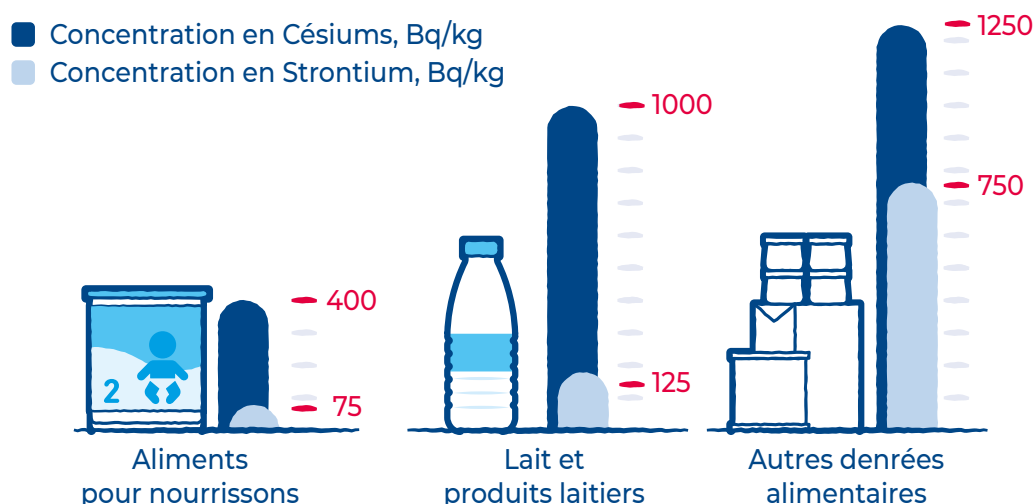


Figure 18. Extrait du règlement (Euratom) 2016/52 du 15 janvier 2016 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive en césium 134 ou 137 et en strontium 90 pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique.

EXEMPLES DE CALCUL DE LA DOSE REÇUE PAR INGESTION DE DENRÉES CONTAMINÉES

Pour fixer un ordre de grandeur, une quantité de 80 000 becquerels de césium 137 – ingérés en un ou plusieurs repas – correspond à une dose efficace égale à environ 1 mSv.

Le tableau suivant montre le calcul de la dose correspondant à l'ingestion quotidienne, pendant une année, d'aliments qui seraient tous (100 %) contaminés à

un niveau égal à celui des NMA fixés réglementairement pour gérer les situations d'urgence radiologique (règlement Euratom 2016/52 du 15 janvier 2016). Dans ce cas de figure hypothétique, assez peu réaliste car très conservatif, la dose efficace annuelle par ingestion qui serait reçue par un adulte de plus de 15 ans serait de l'ordre de 10 mSv (9,04 mSv). La dose reçue par une personne dont seulement 10 % des denrées alimentaires seraient contaminées à ces niveaux serait de 1 mSv/an.

Aliments	Ration alimentaire en grammes (2 repas)	Contamination Cs-137 (Bq/kg)	Dose efficace mSv/an***
 Pain (du commerce)	300	10*	0,0001
 Fruits et légumes (du potager)	400	200*	0,0010
 Viande (gibier chassé)	400	50 000*	0,2600
 Fromages (du commerce)	200	10**	0,0000
 Baies (myrtilles cueillies)	100	10 000*	0,0130
 Champignons (girolles ramassées)	200	250 000*	0,6500
 Eau, vin et jus de fruits (du commerce)	2 000	10**	0,0003
TOTAL	3 700		0,9244

Figure 19. Exemple de calcul de la dose efficace reçue par l'ingestion occasionnelle de denrées fortement contaminées.

* De tels niveaux de contamination (et même des niveaux plus élevés) peuvent être exceptionnellement observés sur un territoire contaminé à la suite d'un accident nucléaire (ex. Tchernobyl, Fukushima).

** Ordre de grandeur des seuils de détection des appareils de mesure = 10 Bq/kg.

*** Coefficient de dose par ingestion Cs-137 adulte de plus de 15 ans = $1,3 \cdot 10^{-5}$ mSv/Bq (CIPR 72).

04 – Glossaire

Accident nucléaire ou radiologique

Résulte d'une perte de contrôle d'une installation nucléaire ou d'une source radioactive.

Activité (d'un matériau radioactif)

Nombre de transformations nucléaires se produisant dans une quantité donnée de matière radioactive par unité de temps. L'unité internationale de l'activité correspond à 1 désintégration par seconde et est appelée becquerel (Bq).

Alpha (symbole α)

Rayonnement composé de deux protons et deux neutrons, fortement ionisant mais très peu pénétrant. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter sa propagation.

Anthropique

Qualifie tout élément trouvant son origine directement ou indirectement par l'action de l'homme.

Anthropogammamétrie, anthroporadiométrie

Mesure du rayonnement émis par tout ou partie du corps humain, permettant d'identifier les radionucléides présents et d'évaluer l'activité de chacun d'eux. Cette mesure détecte essentiellement les rayonnements gamma.

Atome

Constituant de base de la matière. Il est composé d'un noyau (neutrons + protons) autour duquel gravitent des électrons.

Becquerel (symbole Bq)

Unité de mesure légale et internationale de la radioactivité. Le becquerel (Bq) est égal à une désintégration par seconde.

Bêta (symbole β)

Rayonnement composé d'électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffit à l'arrêter.

Biosphère

Ensemble des organismes vivants et leurs milieux de vie, donc la totalité des écosystèmes présents dans le sol, l'eau et l'atmosphère.

Bruit de fond

Signal non désiré apparaissant indépendamment du signal spécifique. Il est généralement décomposé en bruit propre dû à l'appareil et en perturbations extérieures.

Bruit de fond radiologique

Niveau de radioactivité ambiant résultant de la radioactivité naturelle émanant du sol, de l'air et des rayonnements ionisants venant de l'espace et de la radioactivité artificielle résultant des activités humaines anciennes (accidents, essais nucléaires aériens).

Capteur (de rayonnements ionisants)

Le capteur est la partie sensible aux rayonnements ionisants d'un appareil de mesure de la radioactivité : cristal d'iodure de sodium (NaI) ou de germanium ultrapur (HPGe), scintillateur plastique, etc.

Cellule somatique

Cellules formant le corps d'un organisme multicellulaire, c'est-à-dire toutes les cellules autres que les cellules germinales (ovules et spermatozoïdes).

Centrale nucléaire

Installation de production d'énergie électrique (réacteur) qui utilise la chaleur dégagée par la fission de l'atome.

Césium (Cs, numéro atomique 55)

Métal rare dont les caractéristiques chimiques sont comparables à celles du potassium. Les isotopes 134 et 137 sont des produits de fission radioactifs dont la période radioactive est respectivement de 2,2 ans pour le premier et de 30,17 ans pour le second.

Coups par minute (CPM)

Chaque coup correspond à une désintégration détectée par l'appareil. Les CPM représentent le nombre de désintégrations détectées par l'appareil en une minute.

Coups par seconde (CPS)

Coups par seconde. Chaque coup correspond à une désintégration détectée par l'appareil.

Contamination radioactive

Présence à un niveau indésirable de substances radioactives (poussières ou liquides) à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque (individu, environnement, etc.). La contamination de l'homme peut être externe (sur la peau) ou interne (par respiration ou ingestion).

Cosmogénique (radionucléide)

Radionucléide créé quand un rayon cosmique de haute énergie interagit avec le noyau d'un atome dans l'atmosphère terrestre.

Débit de dose

Variation de la dose absorbée par unité de temps, exprimée en gray par unité de temps : Gy/min, Gy/h.

Débit de dose ambiant

Variation de la dose par unité de temps dans l'environnement immédiat de l'appareil de mesure. C'est la valeur lue sur l'appareil de mesure (voir fiche 5), généralement exprimée en $\mu\text{Sv/h}$.

Débit d'équivalent de dose (ambiant)

Variation de l'équivalent de dose par unité de temps. Cette grandeur utilisable en radioprotection opérationnelle est obtenue par conversion du nombre de désintégrations détectées par l'appareil avec des facteurs de calibration, pendant un temps donné. Elle est souvent donnée en microsievert par heure ($\mu\text{Sv/h}$). **Dans ce guide, par volonté de simplification, ce terme est remplacé par le terme de « débit de dose ».**

Décontamination

Opération physique, chimique ou mécanique destinée à éliminer ou réduire une présence de matières radioactives.

Décroissance radioactive

Disparition progressive des radionucléides du fait de leur désintégration radioactive spontanée.

Demi-vie

Voir période radioactive.

Dépôt radioactif

Les rejets radioactifs émis par exemple lors d'un accident nucléaire se déposent sur le sol selon deux modes, sec et humide (à partir des précipitations). Ils peuvent être la cause d'une contamination durable des sols. Les dépôts radioactifs induisent une exposition externe ou une exposition interne par ingestion d'aliments contaminés ou par inhalation de poussières contaminées.

Désintégration radioactive

Transformation d'un atome radioactif en un autre atome avec émission d'un rayonnement ionisant.

Détecteur de radioactivité

Appareil permettant la détection ou la mesure de la radioactivité. Cet appareil est généralement constitué d'un capteur de rayonnements ionisants et d'une électronique associée.

Dose absorbée

Quantité d'énergie déposée dans un volume de matière donné par un rayonnement ionisant. L'unité est le gray (Gy).

Dose efficace

Grandeur mesurant l'exposition du corps humain à des rayonnements ionisants en tenant compte de la dangerosité des rayonnements et de la sensibilité des organes. Cette grandeur n'est pas mesurable mais calculée. Elle permet d'évaluer le risque dû à l'exposition aux rayonnements ionisants.

Équivalent de dose

Quantification du risque pour la santé à la suite d'une exposition à des rayonnements ionisants. C'est une grandeur opérationnelle utilisée pour la radioprotection. Elle est obtenue par conversion du nombre de désintégrations détectées par l'appareil avec des facteurs de calibration. **Dans ce guide, par volonté de simplification, ce terme est remplacé par le terme de « dose ».**

Euratom (traité)

Ce traité, signé à Rome en 1957, institue la Communauté européenne de l'énergie atomique dont la mission consiste à contribuer, par le développement de l'énergie nucléaire, à la mise en commun des connaissances, des infrastructures et du financement, et à assurer la sécurité d'approvisionnement dans le cadre d'un contrôle centralisé.

Exposition

L'exposition est le fait d'être exposé aux rayonnements ionisants. L'exposition est externe si la source est située à l'extérieur de l'organisme, l'exposition est interne si la source est située à l'intérieur de l'organisme.

Gamma (symbole γ)

Rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger.

Gray (symbole Gy)

Unité de mesure de la dose absorbée. 1 Gy correspond à une énergie de 1 joule déposée dans une masse de 1 kg de matière.

Iode (I, numéro atomique 53)

Corps simple dont les isotopes radioactifs sont présents dans les produits de fission. Tous les iodes radioactifs (129, 131, 132, 133, etc.) ont une demi-vie courte (ex. l'iode 131 a une période radioactive de 8,02 jours) à l'exception de l'iode 129 dont la demi-vie est de près de 16 millions d'années.

Irradiation

Exposition à un rayonnement. Ce terme est utilisé préférentiellement en cas d'exposition externe.

Isotope

Éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom et les mêmes propriétés chimiques, mais pas les mêmes propriétés physiques. On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1 200 isotopes créés artificiellement.

Leucémie

Cancer de la moelle osseuse, l'organe responsable de la formation du sang.

Niveaux maximaux admissibles (NMA)

Règlement européen Euratom 2016-52 qui fixe les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et aliments pour animaux après un accident nucléaire, en fonction de 5 catégories de produits et 4 groupes d'isotopes radioactifs.

Période radioactive

Temps nécessaire pour que la quantité d'atomes d'un élément radioactif ait diminué de moitié. La période est spécifique de chaque radionucléide.

Plutonium (Pu, numéro atomique 94)

Élément chimique transuranien artificiel produit dans le cœur des réacteurs nucléaires. L'isotope 239 a une période de 24 000 ans.

Radiamètre

Appareil de mesure de la radioactivité ambiante. Les résultats de mesure sont en général donnés en microsievert par heure ($\mu\text{Sv/h}$).

Radioactivité

Propriété de certains atomes instables dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants.

Radionucléide

Isotope radioactif d'un atome.

Radioprotection

Ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants sur les personnes ou sur l'environnement, directement ou indirectement.

Radon

Gaz radioactif issu de la désintégration de l'uranium et du thorium qui s'accumule dans les cavités souterraines et dans les sous-sols des bâtiments.

Rayonnement

Transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques (gamma) ou de particules (alpha, bêta, neutrons) émis lors de la désintégration de radionucléides.

Rayonnements ionisants

Rayonnements susceptibles d'arracher des électrons à la matière.

Sievert (symbole Sv)

Unité de quantification du risque, utilisée en radioprotection.

Spectrométrie

Analyse de l'intensité d'un rayonnement émis par une source en fonction de son niveau d'énergie. Cette méthode permet à la fois d'identifier les radionucléides et de les quantifier.

Strontium (Sr, numéro atomique 38)

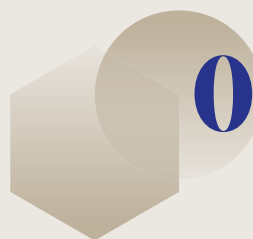
Élément alcalino-terreux dont certains isotopes sont très abondants dans les produits de fission, en particulier l'isotope 90, qui peut se fixer dans les tissus osseux et dont la période radioactive est de 28,15 ans.

Thyroïde

Glande endocrine située au niveau de la partie antérieure du cou, chargée de la synthèse d'hormones indispensables à la croissance, au développement et au maintien du système nerveux et à la production énergétique de la plupart des cellules.

Uranium (U, numéro atomique 92)

Élément chimique possédant trois isotopes naturels : l'uranium 234, l'uranium 235 et l'uranium 238. L'uranium 235 est le seul nucléide fissile naturel, une qualité qui explique son utilisation comme source d'énergie dans les réacteurs nucléaires.



05 – Acronymes

ANCCLI:

Association nationale des comités et commissions locales d'information

www.anccli.org

Andra:

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

www.andra.fr

ANSES:

Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail

www.anses.fr

ASNR:

Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

www.asnr.fr

CEA:

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

www.cea.fr

CLI:

Commission locale d'information.

Codirpa:

Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire

www.asn.fr/l-asn-informe/post-accident/le-codirpa

www.post-accident-nucleaire.fr

DDPP:

Direction départementale de la protection des populations.

DGCCRF:

Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes.

EDF:

Électricité de France

www.edf.fr

Orano:

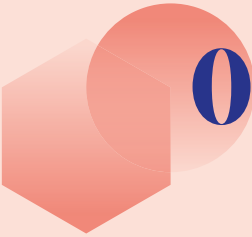
Groupe industriel français intervenant notamment dans le cycle du combustible et la fabrication d'installations nucléaires, anciennement dénommé Areva

www.orano.group

RNM:

Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement

www.mesure-radioactivite.fr



06 – Liens utiles

Site d'information sur la gestion post-accidentelle : www.post-accident-nucleaire.fr

Sites de partage des mesures de la radioactivité réalisées par les citoyens :

- www.openradiation.org
- <https://safecast.org>

Sites de publication des résultats de la surveillance de l'environnement :

- Le site Teleray pour la mesure en continu du débit de dose ambiant : <https://teleray.asnr.fr/#/home/map>
- Le site EURDEP qui regroupe l'ensemble des mesures de débit de dose ambiant sur le territoire européen : <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Rad-Data-Exchange>
- Le site du Réseau national de mesure qui diffuse l'ensemble des résultats de surveillance de l'environnement à partir des données des laboratoires de mesure agréés : www.mesure-radioactivite.fr

Liste des laboratoires agréés pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement.

Cette liste est mise à jour tous les six mois : [Listes des agréments d'organismes](#)

Document de la SFRP « mémo concernant la mesure de contamination radioactive surfacique » :

- <https://sfrp.asso.fr/wp-content/uploads/2023/05/Fiche-Technique-SFRP-Mesure-de-contamination--05-2023-V9.pdf>

Sites concernant le radon :

- <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/radon>
- <https://recherche-expertise.asnr.fr/savoir-comprendre/environnement/risque-radon-10-questions>
- <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F20599>

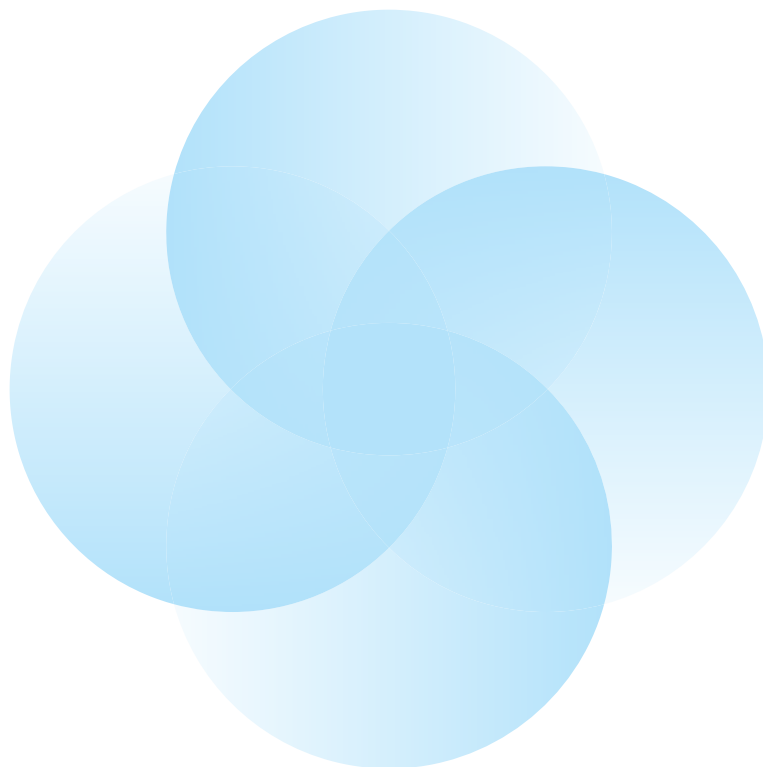
Sites des associations réalisant des mesures dans l'environnement :

- Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest (ACRO) : <https://www.acro.eu.org/>
- Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (CRIIRAD) : <https://www.criirad.org/>

L'association nationale des comités et commissions locales d'information sur le nucléaire (ANCCLI) : regroupe les 35 CLI existantes. Vous pourrez y retrouver les coordonnées de la CLI la plus proche de chez vous. <https://www.anccli.org/>

Application de l'ASNR pour estimer votre exposition à la radioactivité : <https://expop.asnr.fr/>

Éditeur : Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) - 15-21, rue Louis Lejeune - 92120 Montrouge
Conception/réalisation : 109 l'Agence - Illustrations : Antoine Dagan
Date de parution : décembre 2025



Pour en savoir plus
Guide et ses annexes disponibles sur

www.post-accident-nucleaire.fr
Centre d'accueil et d'information
(N° de téléphone à renseigner en situation réelle)
www.asnr.fr

