



contrôleur de contamination mains / pieds

© Photo APVL

Dispositifs de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants

© D.R.



dosimètre électronique opérationnel

© D.R.

dosimètres passifs poitrine ou poignet

© D.R.



radiamètre de contrôle d'ambiance

© D.R.



© Photo APVL

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :

- lors de l'utilisation de sources,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité naturelle sur les lieux de travail,
- à la suite d'un accident ou incident au cours d'un processus industriel.

Protéger l'homme, compte tenu des risques encourus, passe d'abord par l'évaluation des risques, en prenant en compte le processus industriel et les conditions d'exposition des personnes, puis par l'application de mesures de prévention qui visent à maîtriser tant les risques de contamination par les matières radioactives que les risques d'exposition aux rayonnements ionisants.

Les rayonnements ionisants

La radioactivité est un phénomène lié à la structure de la matière. Certains atomes (radioéléments) sont instables et émettent des rayonnements ionisants. Il peut s'agir de :

- substances radioactives naturelles,
- substances radioactives artificielles,

La science a développé d'autres moyens artificiels pour produire des rayonnements ionisants : accélérateurs de particules, générateurs électriques.

Les secteurs d'activité concernés sont :

- le secteur médical (radiothérapie, radiodiagnostic, etc.);

- l'industrie nucléaire (extraction, fabrication, utilisation et retraitement du combustible, stockage et traitement des déchets);

- pratiquement tous les secteurs industriels avec par exemple la radiographie, les jauges et traceurs, la désinfection ou la stérilisation par irradiation, la conservation des aliments, la chimie sous rayonnement, la détection de masses métalliques dans les aéroports, etc.;

- certains laboratoires de recherche et d'analyse.

Toutes les applications impliquant des matières radioactives pour d'autres propriétés que leur radioactivité sont aussi concernées.

L'exposition à la radioactivité naturelle sur les lieux de travail est aussi à prendre en compte :

- les expositions au radon dans certains cas;
- l'exposition aux rayons cosmiques qui concerne pour l'instant le personnel navigant des compagnies aériennes.

Les effets sur l'organisme sont de deux ordres distincts :

- les effets déterministes le plus souvent précoces apparaissent pour des doses élevées (ex : érythème cutané);
- les effets aléatoires apparaissent de manière parfois très tardive et pour des doses faibles (ex : cancer).

Définitions

Les rayonnements ionisants sont ainsi dénommés car, lors de leur interaction avec la matière, ils peuvent l'ioniser c'est-à-dire enlever un ou plusieurs électrons à ses atomes.

Généralement, un radioélément émet plusieurs types de rayonnements ionisants à la fois (alpha, bêta, gamma, X, neutronique, positons, électrons...). Cette émission spontanée de rayonnements donne lieu à la formation de nouveaux atomes, eux-mêmes radioactifs (descendants de la substance initiale). Cette chaîne de décroissance radioactive aboutit à la formation d'atomes stables (non radioactifs).

À noter que cette fiche traite non pas de l'émission et des interactions de ces divers rayonnements avec la matière, mais de l'approche globale de prévention de ce risque.

L'activité (émission de rayonnements) d'une substance radioactive diminue avec le temps. La durée au bout de laquelle cette activité a diminué de moitié est appelée période physique de la substance. Pour les radioéléments les plus courants, la période physique s'étend de la minute à plusieurs milliards d'années.

Les grandeurs et unités internationales utilisées aujourd'hui dans ce domaine sont :

- le becquerel (Bq),

mesure de l'activité d'un corps radioactif ;

- le gray (Gy),

mesure de la dose (énergie) absorbée par unité de masse de matière irradiée (homogène à des Joules / kilo) ;

- le sievert (Sv),

mesure de la dose équivalente (dose absorbée par chaque organe) et de la dose efficace (somme des doses équivalentes), auxquelles un organisme vivant ou un organe / tissu peuvent être exposés. Cette unité (également homogène à des joules/kilo) tient compte de coefficients de pondération dépendant d'une part de la nature du rayonnement incident, d'autre part de l'organe exposé.



Expositions professionnelles

Les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants peuvent se produire dans les cas suivants :

- utilisation de sources de rayonnements ionisants, dans les conditions normales, ou travail à proximité de ces sources ;
- utilisation de matières contenant naturellement des radioéléments et pour d'autres propriétés que leur radioactivité ;
- du fait de la présence de radioactivité naturelle sur les lieux de travail ;
- accident ou incident dans le déroulement du processus industriel.

Selon les circonstances, cette exposition peut être externe (avec ou sans contact cutané) ou interne (ingestion, inhalation ou pénétration par contact de substances radioactives).

Exposition externe sans contact cutané

La source radioactive du rayonnement est située à distance de l'organisme (exposition globale ou localisée). L'irradiation est dans ce cas en rapport avec le pouvoir de pénétration dans le corps des divers rayonnements émis par la source. De ce fait, sont surtout à prendre en compte les rayonnements gamma, X et neutroniques. Les rayonnements bêta n'entraînent pas d'irradiation en profondeur du corps humain. Les rayonnements alpha ne peuvent en aucun cas entraîner d'exposition externe, car ils ne passent pas la barrière cutanée.

Contamination externe avec dépôt sur la peau de substance radioactive

Il y a irradiation par dépôt sur la peau de corps radioactifs. Par rapport au cas précédent, le contact cutané avec un radioélément peut induire une exposition interne par pénétration du radioélément à travers une peau altérée (plaie), plus rarement à travers une peau saine.

Exposition interne

Les substances radioactives ont pénétré dans l'organisme soit par inhalation (gaz, aérosols), par ingestion, par voie oculaire ou par voie percutanée (comme déjà signalé altération cutanée, plaie, plus rarement à travers une peau saine). Après pénétration dans l'organisme, l'exposition interne se poursuivra tant que la substance radioactive n'aura pas été éliminée naturellement (notion de période biologique) et que celle-ci continuera d'émettre des particules ionisantes (en rapport avec la période physique). Les rayonnements alpha sont, dans ce cas, les plus dangereux pour la santé ; très ionisants, ils induisent le plus d'effets dans la matière biologique environnante. Une fois incorporées, les substances se répartissent dans l'organisme sur des sites préférentiels dits organes cibles.

RISQUES POUR L'HOMME

Deux types d'effets sur l'organisme sont observés.

Les effets déterministes

Ce sont des effets à seuil, qui apparaissent à court ou moyen terme et sont liés directement à la mort cellulaire. Le seuil d'apparition connu pour ces effets est spécifique à chaque organe (par exemple stérilité masculine temporaire observée à partir de 0,15 Gy d'exposition à des rayonnements gamma ou X). A partir de ce seuil, l'importance des effets croît avec la dose d'exposition. Les effets déterministes aigus se manifestent le plus souvent de quelques heures à quelques jours après l'exposition. En cas d'irradiation globale du corps humain, le pronostic vital est lié à l'importance de l'atteinte des tissus les plus radio-sensibles (moelle osseuse, tube digestif). Pour des rayonnements gamma ou X, à partir de 4,5 Gy, la moitié des accidents par irradiation sont mortels en l'absence de traitement.

Les effets aléatoires (ou stochastiques)

Ces effets sont liés aux modifications de l'appareil génétique des cellules et apparaissent à long terme plusieurs années après l'exposition. Ce sont les cancers et les anomalies génétiques. Il n'a pas été possible de mettre en évidence l'existence d'un seuil pour ces effets aléatoires. Par prudence, on considère que toute dose, aussi faible soit-elle, peut entraîner un risque accru de cancer. C'est l'hypothèse « d'absence de seuil ».

COMMENT PROTÉGER LES HOMMES ?

Évaluation a priori des risques

L'évaluation a priori des risques liés aux rayonnements ionisants doit prendre en compte :

- le processus industriel qui met en œuvre les rayonnements ionisants : conditions physico-chimiques du procédé, effets des rayonnements sur la matière, contrôle-commande du processus ;

- les caractéristiques de la source :

- lorsqu'il s'agit de matières radioactives : l'activité de la source radioactive, le type de rayonnement émis (α , β , γ ou X, neutrons, etc.) et l'énergie de chacun de ces rayonnements, ainsi que les caractéristiques physico-chimiques (état physique tel que gaz, vapeur, aérosols). Les descendants de la substance radioactive présente initialement, seront pris en compte si nécessaire de la



La réglementation, établie pour la protection contre les dangers des rayonnements ionisants, intègre les trois principes de justification, d'optimisation et de limitation. Elle concerne :

- la protection des travailleurs (y compris les travailleurs non salariés),
- la protection du public et de l'environnement,
- la protection des patients

- et la protection des personnels des unités d'intervention d'urgence.

Les articles des codes de la Santé publique et du Travail correspondant sont :

- **Code de la Santé publique - Chapitre 3 : Rayonnements ionisants – (articles L. 1333-1 à L. 1333-17, L. 1336-5 à L1336-9 et R. 1333-1 à R. 1333-93) ;**
- **Code du Travail (articles L. 231-1, L. 231-2, L. 231-7-1 et R. 231-73 à R. 231-116).**

Un travailleur est considéré comme exposé s'il reçoit une dose efficace supérieure à **1 mSv/an** (limite pour le public).

Pour les travailleurs, les limites de doses réglementaires sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Les travailleurs exposés sont classés par l'employeur en deux catégories :
 - en catégorie A, ceux susceptibles d'être exposés dans des conditions normales de travail à une dose efficace supérieure à **6 mSv/an** ou à une dose équivalente supérieure aux 3/10 d'une des limites annuelles d'exposition ;
 - en catégorie B, les autres travailleurs exposés.

Les affections provoquées par les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants sont couvertes par les tableaux des maladies professionnelles n°s 6 du régime général de la Sécurité sociale et 20 du régime agricole.

	Dose efficace Corps entier	Dose équivalente mains, avant bras, pieds, cheville	Dose équivalente sur tout cm ² de peau	Dose équivalente au cristallin
Travailleurs	20 mSv sur 12 mois consécutifs	500 mSv	500 mSv	150 mSv
Jeunes travailleurs (entre 16 et 18 ans, sous réserve d'y être autorisés pour les besoins de leur formation)	6 mSv sur 12 mois consécutifs	150 mSv	150 mSv	50 mSv
Femmes enceintes	inférieure à 1 mSv dose équivalente au fœtus, de la déclaration de la grossesse à l'accouchement			
Femme allaitant	Interdiction de les maintenir ou les affecter à un poste entraînant un risque d'exposition interne			

même façon. Les substances radioactives peuvent donner lieu à des expositions externes et/ou internes. Dans ce dernier cas, la période effective, fonction des périodes biologique et physique, doit aussi être prise en compte;

- lorsqu'il s'agit de générateurs, la nature du rayonnement (particulaire ou photonique), son énergie et les conditions de diffusion;

- les conditions d'exposition notamment la distance à la source (la quantité de rayonnements reçue varie en fonction inverse du carré de la distance) et la durée de l'exposition en cas d'exposition externe, la présence ou non d'écrans.

Mesures de prévention

La prévention est fondée sur :

- la sécurité intégrée aux processus industriels, obtenue par la mise en œuvre des méthodes et moyens techniques lors de la conception de ces processus;
- la radioprotection, c'est-à-dire l'ensemble des dispositions qui permettent de protéger l'homme des rayonnements ionisants,

basée sur la reconnaissance par la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique) de l'hypothèse d'une relation linéaire dose-effet.

Les trois idées maîtresses en radioprotection résultent de la reconnaissance de cette dernière hypothèse :

JUSTIFICATION : l'utilisation de rayonnements ionisants doit être justifiée par le bénéfice attendu par rapport au risque correspondant;

OPTIMISATION : maintenir les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des impératifs techniques et économiques (principe ALARA « as low as reasonably achievable »);

LIMITATION DES DOSES INDIVIDUELLES : respect des valeurs limites réglementaires, basé sur deux principes :

- exclure les effets déterministes, en maintenant les doses inférieures aux limites connues (protection absolue);
- réduire la probabilité de survenue des effets aléatoires.

A noter que le respect de ces valeurs réglementaires n'est pas par lui-même suffisant. Il faut de plus pouvoir montrer qu'une démarche d'optimisation continue est en place pour respecter le principe ALARA.

En pratique, la radioprotection est mise en œuvre par des mesures qui peuvent être techniques, administratives et organisationnelles, sous la responsabilité du chef d'établissement.

Les principales mesures techniques sont basées sur :

- Prioritairement des mesures de protection collective :

- le confinement des matières radioactives et l'assainissement des locaux de travail: de façon à rendre impossible l'exposition par contact, inhalation ou ingestion de matières radioactives (exemples : enceintes confinées);

- la limitation de l'exposition aux rayonnements en maîtrisant la durée de l'exposition, en travaillant le plus possible à distance et en utilisant des moyens de protection (écrans adaptés aux rayonnements impliqués).

■ En complément, des mesures de protection individuelle :

- équipements de protection individuelle permettant de limiter les risques de contamination (gants, surbottes, tenue ventilée, etc.) ;
- équipements de protection individuelle permettant de limiter l'exposition externe (tabliers plomb ou équivalent plomb, cache-thyroïde, lunettes, etc.).

Les principales mesures organisationnelles fondées sur la réglementation sont :

- la désignation d'une personne compétente,
- le respect des limites réglementaires,
- l'information, la formation et le classement du personnel,
- la définition et la signalisation de zones de travail dites zone contrôlée ou zone surveillée,
- la signalisation des sources,
- un suivi dosimétrique individuel pour les travailleurs appelés à intervenir en milieu ionisant, fondé sur la dosimétrie passive (différée) et le cas échéant opérationnelle (en temps réel),
- la surveillance médicale des personnes potentiellement exposées et le contrôle des expositions par dosimétrie externe et interne,

LES TRAVAUX DE L'INRS ET SES PARTENAIRES

Il convient de signaler les organismes suivants, avec lesquels l'INRS assure des actions d'information et de formation :

■ l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, chargé de l'expertise scientifique et technique dans ce domaine :

<http://www.irsn.org>

■ l'Autorité de sûreté nucléaire chargée de la réglementation et du contrôle :

<http://www.asn.gouv.fr>

■ le Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire :

<http://www.cepn.asso.fr>

RELIR « Retours d'Expériences sur Les Incidents Radiologiques », est un système dont l'objectif est de recueillir des incidents « exemplaires » dans différents secteurs d'activités, afin qu'ils soient utilisés dans des sessions de formations professionnelles à la radioprotection. Il a été créé par la « Section des Personnes compétentes » de la SFRP (Société Française de Radioprotection) avec la collaboration de l'INRS, de l'IRSN, du CEPN, de l'Institut Curie et de l'INSTN (Institut National de Sciences et Techniques Nucléaires).

<http://reilir.cepn.asso.fr>

- les contrôles d'ambiance, des sources, des dispositifs de protection et d'alarme ainsi que des appareils de mesure,

- la maîtrise des rejets dans l'environnement,

- la traçabilité complète des matières radioactives et le traitement des déchets.

Vérification des mesures de prévention initiales

Elle repose notamment sur :

■ les résultats des contrôles techniques des installations et des sources ;

■ les données concernant le travail réel (à distinguer du travail prévu) ;

■ l'appréciation des résultats dosimétriques individuels.

Elle aboutit soit à une meilleure connaissance de l'exposition, soit à d'éventuelles actions destinées à corriger des dérives dans les pratiques, soit à un renforcement des mesures de prévention.

Évaluation a posteriori

Elle prend en compte les données résultant de l'analyse d'incidents ou d'accidents, afin de faire évoluer les mesures de prévention.

LES PUBLICATIONS DE L'INRS

Articles parus dans la revue Documents pour le Médecin du Travail

■ **96 TD 133** Congrès national de la Société Française de Radioprotection. Montpellier 11-13 juin 2003, p. 487-499

■ **92 TD 124** Société Française de Radioprotection, La Rochelle 11 et 12 juin 2002. Optimisation de la radioprotection dans les domaines électronucléaire, industriel et médical, pp. 397-401

■ **90 TF 116** Organisation de la radioprotection dans les établissements de soins : évaluation et constat en Ile-de-France.

Autres publications

■ Recherche médicale : mieux connaître les expositions aux rayonnements ionisants. *Travail et sécurité*, février 2002.

■ Détection de plomb dans les peintures : risque de radiation. *Travail et sécurité*, juin 2003.

■ Site INRS www.inrs.fr (rubrique Dossiers/risques physiques/rayonnements ionisants)

■ **ED 932** Rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable.