

RAYONNEMENTS IONISANTS

SOMMAIRE DU DOSSIER

- ▶ Ce qu'il faut retenir
- ▶ Généralités
- ▶ Exposition aux risques
- ▶ Effets sur la santé
- ▶ Démarche de prévention
- ▶ Réglementation
- ▶ Conduite à tenir en cas d'incident ou d'accident
- ▶ Publications, outils, liens utiles...

© Guillaume J. Plisson

Accueil > Risques > Rayonnements ionisants

Ce qu'il faut retenir

La **radioactivité** est un phénomène naturel lié à l'instabilité de certains atomes qui composent la matière. Ces atomes instables (les **radioéléments**) émettent des rayonnements qui, en interagissant avec la matière, peuvent l'ioniser, c'est-à-dire enlever un ou plusieurs électrons à ses atomes. Ces rayonnements sont dits ionisants.

Généralement, un radioélément émet plusieurs types de rayonnements ionisants à la fois (alpha, bêta, gamma, X et neutronique). L'émission diminue avec le temps (de quelques jours à plusieurs millions d'années, selon le radioélément considéré). On parle de décroissance radioactive.

La radioactivité peut provenir de **substances radioactives** naturelles (uranium, radium, radon) ou artificielles (californium, américium, plutonium). Différents dispositifs et installations (accélérateurs de particules, générateurs électriques...) peuvent également émettre des rayonnements ionisants.

Secteurs d'activité concernés

Les principaux secteurs d'activité utilisant des rayonnements ionisants sont :

- le secteur médical (**radiothérapie, radiodiagnostic, médecine nucléaire...**),
- l'industrie nucléaire (extraction, fabrication, utilisation et retraitement du combustible, stockage et traitement des déchets...),
- presque tous les secteurs industriels (**contrôle par radiographie** de soudure ou d'étanchéité, jauges et **traceurs**, désinfection ou **stérilisation par irradiation, conservation des aliments**, chimie sous rayonnement, détection de masses métalliques dans les aéroports...),
- certains laboratoires de recherche et d'analyse.

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



© P. Delapierre / INRS

Le secteur médical figure parmi les principaux secteurs concernés

Prévention des risques d'exposition

Protéger le travailleur, 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. Cela passe également par l'application de mesures de prévention qui visent à maîtriser les risques de contamination par les matières radioactives ainsi que les risques d'exposition aux rayonnements ionisants.

En outre, il est important de connaître les signes d'alerte, la conduite à tenir et les différentes mesures à prendre en cas de **situation anormale** lors de l'utilisation d'un générateur ou d'une source scellée ou en cas de **dissémination de substances radioactives** lors de l'utilisation d'une source non scellée.

La prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants est encadrée par un certain nombre de dispositions réglementaires, figurant dans le Code de la santé publique et le Code du travail. La réglementation prévoit notamment des **valeurs limites d'exposition** et un classement des travailleurs exposés.

Pour en savoir plus

Ressources INRS

BROCHURE 05/2013 | ED 4440



Retrait des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI)

Les entreprises détenant des DFCI ne doivent pas les manipuler, les déposer, ni les jeter. Elles doivent faire appel à une société spécialisée, déclarée auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire ¹

¹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204440

BROCHURE 12/2013 | ED 4441



Détecteur portatif de plomb par fluorescence X

Cette fiche "réflexe" synthétise les informations relatives aux risques, aux principales obligations réglementaires, aux bonnes pratiques ainsi qu'aux réflexes à mettre en pratique en cas d'incident ²

² www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204441



Équipements de contrôle qualité par rayons X dans l'industrie

Cette fiche pratique radioprotection traite des risques liés à l'utilisation d'équipements de contrôle qualité par rayons X, du cadre réglementaire applicable et des bonnes pratiques de prévention. ³

³ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204442



Les rayonnements ionisants

Ce document est le complément technique de la brochure ED 932 "Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable". Il présente une méthodologie applicable à toute situation de travail susceptible d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants. Les rayonnements ... ⁵

⁵ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20958



Recherche documentaire sur les risques liés aux rayonnements ionisants

L'objectif de cet article est de fournir une sélection des supports d'information jugés les plus pertinents ainsi qu'une méthodologie de recherche sur les risques liés aux rayonnements ionisants ⁷

⁷ www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2028

- ▶ Fiches de radioprotection : fiches médicales
- ▶ Fiches de radioprotection : radionucléides
- ▶ Fiches de radioprotection : gammagraphie
- ▶ Fiches de radioprotection : secteur médical
- ▶ Évolutions en matière de radioprotection et conséquences sur l'accès aux données dosimétriques



Les rayonnements ionisants

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :

- lors de l'utilisation de sources radioactives scellées ou non scellées,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité ... ⁴

⁴ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205027



Les rayonnements ionisants

Ce document présente le paysage institutionnel et la réglementation applicable en matière de prévention des risques encourus par les personnes qui, peuvent être exposées à des rayonnements ionisants ⁶

⁶ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932



Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (PCR)

Cet article présente la position commune de l'INRS et de l'IRSN sur le rôle-clé, le statut et les missions de la PCR en matière de prévention ainsi que des propositions d'évolution de ceux-ci. ⁸

⁸ www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2013

Liens utiles

Sites d'organismes français

- ▶ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
- ▶ Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
- ▶ Légifrance
- ▶ Société française de radioprotection (SFRP)
- ▶ Retours d'expériences sur les incidents radiologiques (RELIR)

Sites d'organismes internationaux

- ▶ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)

- ▶ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- ▶ International Atomic Energy agency (IAEA)

Autres références bibliographiques

- Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France. Bilan 2012 ». Rapport PRP-HOM / 2013-008. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2012, 104 p.
Rapport téléchargeable sur le site de l'IRSN : www.siseri.irsn.fr⁹
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P. « Guide pratique. Radionucléides et radioprotection. Manuel pour la manipulation de substances radioactives dans les laboratoires de faible et moyenne activité ». 4e édition mise à jour. EDP Sciences, 2004, 262 p. Edité en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société française de radioprotection (SFRP) et la revue Radioprotection.
- THEVENIN J.C. « Instrumentation pour la dosimétrie individuelle des travailleurs ». Génie nucléaire BN 3490. Doc BN 3490. Techniques de l'ingénieur, 2003, 16 p., 4 p.
- TUBIANA M., LALLEMAND J. « Radiobiologie et radioprotection ». Que sais-je ? n° 2439. Presses universitaires de France (PUF), 2002, 128 p.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., BOISSIERE G. « Manuel pratique de radioprotection ». 3e édition. Technique et documentation Lavoisier, 2007, 666 p.
- GAURON MC., BOULAY MH. « Radioprotection ». Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-700-A-10. Editions techniques, 2(2005) 185-197.
- « Symboles graphiques et pictogrammes. Couleurs et signaux de sécurité ». Norme française homologuée. NF X08-003. Association française de normalisation (AFNOR), 1994 (erratum de mars 1995), 47 p.
- « Signalisation des rayonnements ionisants. Schéma de base ». Norme française homologuée. NF M 60-101. Association française de normalisation (AFNOR), 1972, 2 p.

⁹ [siseri.irsn.fr/](http://www.siseri.irsn.fr/)

Mis à jour le 16/06/2015

Généralités

Quelques notions à connaître sur les rayonnements ionisants pour mieux comprendre les mesures de radioprotection à mettre en place.

Quelques notions couramment utilisées dans le domaine des rayonnements ionisants sont indispensables pour mieux comprendre les mesures de radioprotection à mettre en place.

Un peu de physique...

La radioactivité est un phénomène naturel lié à la structure de la matière. Tous les corps (gaz, liquides, solides) sont composés d'atomes. Certains de ces atomes sont instables et émettent des rayonnements. Il peut s'agir de :

- substances radioactives naturelles (uranium, radium, radon...),
- substances radioactives artificielles (californium, américium, plutonium...).

Ces atomes instables (radioéléments) se transforment spontanément en perdant de l'énergie, et reviennent ainsi progressivement à un état stable. Ils émettent alors des particules, dont le flux constitue un rayonnement porteur d'énergie, spécifique du radioélément qui l'émet. Ces rayonnements sont dits **ionisants** car, par leur interaction avec la matière, ils peuvent l'ioniser c'est à dire lui enlever un ou plusieurs électrons. Le pouvoir d'ionisation d'un rayonnement dépend de sa nature (**alpha, bêta, gamma, X, neutronique**) et des énergies de chacune des émissions. On peut observer une ionisation de la matière à partir d'un seuil d'énergie particulière de 10 électronvolts.

Généralement, un radioélément émet plusieurs types de rayonnement à la fois (alpha, bêta, gamma, X, neutronique).

LES DIFFÉRENTS TYPES DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES				
Type de rayonnement	Exemples d'émetteurs *	Nature	Spécificité	Pouvoir pénétrant **
alpha α	Américium 241 Plomb 210 Radon 222 Thorium 232 Uranium 235 Uranium 238	Particules constituées de 2 protons et 2 neutrons (charge électrique positive)	Directement ionisant	Faible pénétration - parcourt quelques centimètres dans l'air - arrêté par la couche cornée de la peau ou une feuille de papier
bêta β	Césium 137 Iridium 192 Phosphore 32 Soufre 35 Tritium (ou Hydrogène 3)	Electrons porteurs d'une charge électrique positive (positons β^+) ou négative (β^-)	Directement ionisant	Pénétration limitée - parcourt quelques mètres dans l'air - arrêté par une feuille d'aluminium ou par des matériaux de faible poids atomique (plexiglas, etc.) - ne pénètre pas en profondeur dans l'organisme (pour une source située dans son environnement extérieur)
Gamma γ	Césium 137 Iridium 192 Or 198 Technétium 99	Photons énergétiques	Indirectement ionisant	Pénétration importante - parcourt quelques centaines de mètres dans l'air - traverse les vêtements et le corps - arrêté ou atténué par des écrans protecteurs (épaisseurs de béton, d'acier ou de plomb)
X	Générateur électrique de rayons X	Photons énergétiques	Indirectement ionisant	Pénétration importante - parcourt quelques centaines de mètres dans l'air - traverse les vêtements et le corps - arrêté ou atténué par des écrans protecteurs (épaisseurs de béton, d'acier ou de plomb)
neutronique	Couple Américium-Béryllium Lors de la fission de l'Uranium 235 Accélérateurs de particules	Neutrons	Indirectement ionisant	Pénétration importante - parcourt quelques centaines de mètres dans l'air - traverse les vêtements et le corps - arrêté par des écrans de paraffine

* Radioéléments ou sources couramment utilisés actuellement en milieu industriel et médical.

** Ne sont indiquées ici que des notions générales. En pratique, ce pouvoir de pénétration dépend de l'énergie de chacun des rayonnements.

Quelques définitions

- **Un rayonnement est dit « directement ionisant » lorsqu'il est constitué de particules électriquement chargées**, d'énergie suffisante pour produire des ions (atomes porteurs de charges électriques) par interaction avec la matière.
- **Un rayonnement est dit « indirectement ionisant » lorsqu'il est constitué de particules non chargées électriquement**, dont l'énergie est suffisante pour produire, selon plusieurs types d'interactions, une ionisation de la matière.
- **On parle de « rayonnement primaire », lorsqu'il s'agit d'un rayonnement émis spontanément par une source radioactive.**
- **L'expression « rayonnement secondaire » est utilisée lorsqu'il s'agit de rayonnements résultant des interactions de rayonnements primaires avec la matière.** Par exemple :
 - rayonnement X secondaire, diffusé ou réfléchi par les obstacles (murs, sols ou plafonds) ;
 - rayonnement secondaire lors de l'interaction de neutrons avec la matière (provoquant l'émission secondaire de rayonnements α , β , γ , X ou de neutrons).

Rappelons que l'activité d'une substance radioactive (émission de rayonnements) diminue avec le temps. Ce phénomène est spécifique à chaque radioélément. On appelle période radioactive le temps au bout duquel le nombre de noyaux instables dans un échantillon radioactif aura décrépu de moitié. Cette période est de l'ordre de 8 jours pour l'iode 131, de 30 ans pour le césium 137, de 5737 ans pour le carbone 14 et de plus de 4 milliards d'année pour l'uranium 238. Il faut donc du temps (souvent très longtemps) pour que l'activité d'un radioélément cesse (retour définitif à un état stable).

Quelques grandeurs et unités

Ne sont présentées ici que les grandeurs et unités internationales utilisées aujourd'hui : becquerel, gray et sievert (Bq, Gy, Sv). Les anciennes grandeurs ou unités (curie, rad ou rem) ne sont pas explicitées dans ce dossier.

PRINCIPALES GRANDEURS ET UNITÉS INTERNATIONALES UTILISÉES DANS LE DOMAINE DES RAYONNEMENTS IONISANTS		
Notion / grandeur mesurée	Unité	Définition / caractéristique
Energie de rayonnement (E)	électronvolt (eV)	1 électronvolt = 1,6. 10 ⁻¹⁹ Joule
Activité d'un corps radioactif (A)	becquerel (Bq)	Nombre de transitions par seconde. Réduite de moitié au bout d'une période, du quart au bout de 2 périodes, etc. Une transition est une modification de l'état énergétique d'un noyau instable, soit par désintégration, soit par émission ou absorption d'un rayonnement.
Dose absorbée par un organisme vivant (D)	gray (Gy)	Energie absorbée par unité de masse. Dose (Gy) = Energie (Joule) / Masse (kg)
Dose équivalente (Ht)	sievert (Sv)	Dose équivalente = Dose absorbée x facteur de pondération radiologique Ce facteur de pondération radiologique (W_r) dépend du type de rayonnement, il vaut 1 pour les rayons X, gamma et bêta, vaut 20 pour les rayons alpha, et est variable pour les neutrons (en fonction de leur énergie). En effet, à dose absorbée égale, les effets biologiques dépendent de la nature des rayonnements (α , β , γ , X ou neutrons) . La dose équivalente est dite « engagée » quand elle résulte de l'incorporation dans l'organisme de radioéléments jusqu'à l'élimination complète de ceux-ci, soit par élimination biologique, soit par décroissance physique.
Dose efficace (E)	sievert (Sv)	Somme des doses équivalentes pondérées délivrées aux différents tissus et organes du corps. La pondération correspond à l'application d'un facteur de pondération tissulaire (W_t) à la dose équivalente pour chaque organe. Cette notion correspond à l'évaluation d'une dose corps entier.

Modes d'exposition

L'exposition aux rayonnements ionisants peut se faire selon trois modes :

- **externe sans contact cutané ;**
- **externe par contact cutané ;**
- **interne.**

Pour une **exposition externe**, la source du rayonnement est extérieure à l'organisme. La source radioactive 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 β n'entraînent pas d'irradiation en profondeur du corps humain. Les rayonnements α ne peuvent en aucun cas entraîner d'exposition externe.

Pour une **exposition externe par contact cutané**, 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 la peau (altération cutanée, plaie, ou plus rarement à travers une peau saine).

Pour une **exposition interne**, les substances radioactives ont pénétré dans l'organisme soit par inhalation (gaz, aérosols), par ingestion, par voie oculaire ou par

voie percutanée (altération cutanée, plaie, ou plus rarement à travers une peau saine). Après pénétration dans l'organisme, l'exposition interne de l'organisme se poursuivra tant que la substance radioactive n'aura pas été éliminée naturellement par l'organisme et que celle-ci continuera d'émettre des particules ionisantes.

Le mode d'exposition a énormément d'importance sur la nature et l'importance des effets recensés. Une exposition interne aux rayonnements β sera ainsi plus nocive qu'une exposition externe à ces rayonnements.

Signalons que la majorité des expositions d'origine professionnelle sont des expositions externes. L'exposition reçue par l'organisme dépend alors de :

- la nature du rayonnement (activité et nature du radioélément) ;
- la distance à la source : plus l'organisme est éloigné de la source d'exposition, moins la dose absorbée sera forte (varie en fonction inverse du carré de la distance) ;
- la durée de l'exposition ;
- l'épaisseur et la composition des écrans éventuels.

Pour en savoir plus

Ressources INRS

BROCHURE 05/2013 | ED 4440



Retrait des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI)

Les entreprises détenant des DFCI ne doivent pas les manipuler, les déposer, ni les jeter. Elles doivent faire appel à une société spécialisée, déclarée auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire ¹⁰

¹⁰ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204440

BROCHURE 12/2013 | ED 4441



Détecteur portatif de plomb par fluorescence X

Cette fiche "réflexe" synthétise les informations relatives aux risques, aux principales obligations réglementaires, aux bonnes pratiques ainsi qu'aux réflexes à mettre en pratique en cas d'incident ¹¹

¹¹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204441

BROCHURE 06/2014 | ED 4442



Équipements de contrôle qualité par rayons X dans l'industrie

Cette fiche pratique radioprotection traite des risques liés à l'utilisation d'équipements de contrôle qualité par rayons X, du cadre réglementaire applicable et des bonnes pratiques de prévention. ¹²

¹² www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204442

BROCHURE 06/2011 | ED 5027



Les rayonnements ionisants

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :

- lors de l'utilisation de sources radioactives scellées ou non scellées,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité ... ¹³

¹³ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205027

BROCHURE 02/2006 | ED 958



Les rayonnements ionisants

Ce document est le complément technique de la brochure ED 932 "Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable". Il présente une méthodologie applicable à toute situation de travail susceptible d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants.

Les rayonnements ... ¹⁴

¹⁴ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20958

BROCHURE 06/2014 | ED 932



Les rayonnements ionisants

Ce document présente le paysage institutionnel et la réglementation applicable en matière de prévention des risques encourus par les personnes qui, peuvent être exposées à des rayonnements ionisants ¹⁵

¹⁵ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932



Recherche documentaire sur les risques liés aux rayonnements ionisants

L'objectif de cet article est de fournir une sélection des supports d'information jugés les plus pertinents ainsi qu'une méthodologie de recherche sur les risques liés aux rayonnements ionisants ¹⁶

¹⁶ www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2028

- ▶ Fiches de radioprotection : fiches médicales
- ▶ Fiches de radioprotection : radionucléides
- ▶ Fiches de radioprotection : gammagraphie
- ▶ Fiches de radioprotection : secteur médical
- ▶ Évolutions en matière de radioprotection et conséquences sur l'accès aux données dosimétriques



Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (PCR)

Cet article présente la position commune de l'INRS et de l'IRSN sur le rôle-clé, le statut et les missions de la PCR en matière de prévention ainsi que des propositions d'évolution de ceux-ci. ¹⁷

¹⁷ www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2013

Liens utiles

Sites d'organismes français

- ▶ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
- ▶ Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
- ▶ Légifrance
- ▶ Société française de radioprotection (SFRP)
- ▶ Retours d'expériences sur les incidents radiologiques (RELIR)

Sites d'organismes internationaux

- ▶ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- ▶ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- ▶ International Atomic Energy Agency (IAEA)

Autres références bibliographiques

- Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France. Bilan 2012 ». Rapport PRP-HOM / 2013-008. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2012, 104 p.
Rapport téléchargeable sur le site de l'IRSN : www.siseri.irsn.fr ¹⁸
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P. « Guide pratique. Radionucléides et radioprotection. Manuel pour la manipulation de substances radioactives dans les laboratoires de faible et moyenne activité ». 4e édition mise à jour. EDP Sciences, 2004, 262 p. Edité en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société française de radioprotection (SFRP) et la revue Radioprotection.
- THEVENIN J.C. « Instrumentation pour la dosimétrie individuelle des travailleurs ». Génie nucléaire BN 3490. Doc BN 3490. Techniques de l'ingénieur, 2003, 16 p., 4 p.
- TUBIANA M., LALLEMAND J. « Radiobiologie et radioprotection ». Que sais-je ? n° 2439. Presses universitaires de France (PUF), 2002, 128 p.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., BOISSIERE G. « Manuel pratique de radioprotection ». 3e édition. Technique et documentation Lavoisier, 2007, 666 p.
- GAURON MC., BOULAY MH. « Radioprotection ». Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-700-A-10. Editions techniques, 2(2005) 185-197.
- « Symboles graphiques et pictogrammes. Couleurs et signaux de sécurité ». Norme française homologuée. NF X08-003. Association française de normalisation (AFNOR), 1994 (erratum de mars 1995), 47 p.
- « Signalisation des rayonnements ionisants. Schéma de base ». Norme française homologuée. NF M 60-101. Association française de normalisation (AFNOR), 1972, 2 p.

¹⁸ siseri.irsn.fr/

Mis à jour le 16/06/2015

Exposition aux risques

Sources et niveaux d'exposition

Il y a trois sources principales d'exposition :

- naturelle ;
- industrielle ou médicale ;
- environnementale du fait des activités humaines impliquant la radioactivité.

Sont présentés ci-après quelques ordres de grandeurs de niveaux d'exposition couramment rencontrés, dans la vie de tous les jours ou en milieu professionnel.

QUELQUES NIVEAUX D'EXPOSITION RENCONTRÉS DANS LA VIE DE TOUS LES JOURS		
Niveau d'exposition		Nature de l'exposition
Doses efficaces (en milliSievert)	0,02 mSv	Radiographie pulmonaire de face (exposition du patient)
	0,04 mSv	Trajet Paris-New-York en avion
	1 mSv	Irradiation médicale moyenne de la population générale en France (dose estimée par an et par personne)
	2 mSv	Irradiation cosmique du personnel navigant de l'aviation (dose estimée par an et par personne)
	2,4 mSv	Irradiation naturelle moyenne de la population générale en France (dose estimée par an et par personne)

D'après les données de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, 2002) et pour le personnel navigant, d'après l'United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2000)

Niveaux d'exposition externe rencontrés en milieu professionnel

D'après les données de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, 2014, expositions 2013). Les valeurs sont mesurées par des dosimètres individuels portés au niveau de la poitrine (mesurant une dose de rayonnements X, gamma et neutrons, représentative de la dose efficace reçue par le porteur.

DOMAINE D'ACTIVITÉ	EFFECTIF SURVEILLÉ	RÉPARTITION DES EFFECTIFS PAR CLASSES DE DOSE					
		< seuil	Du seuil à 1 mSv	De 1 à 6 mSv	De 6 à 15 mSv	De 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	222 975	180 897	39 066	2 750	250	6	6
Nucléaire ^(a)	68 509	47 287	14 416	5 938	865	2	1
Industrie non nucléaire	33 555	23 348	6 348	3 103	751	3	2
Recherche et enseignement ^(b)	13 158	11 573	1 535	49	1	0	0
Autres ^(c)	13 885	11 534	2 186	158	7	0	0
Total	352 082	274 639	63 551	11 998	1 874	11	9

© B. Fournier / INRS

(a) Le domaine nucléaire inclut également le transport de matières radioactives dans les activités liées à ce domaine. (b) Le domaine de la recherche et de l'enseignement inclut la recherche médicale, les activités au sein des installations de recherche liées au nucléaire, la recherche (autre que médicale et nucléaire) et l'enseignement. (c) La catégorie « Autres » regroupe les secteurs d'activité suivants : la gestion des situations de crise, l'inspection et le contrôle, les activités à l'étranger, les activités de transports de sources dont l'utilisation n'est pas précisée ainsi que les activités non classées d'après la nomenclature. Le secteur des activités à l'étranger n'est encore que peu identifié en termes de classification des travailleurs, avec la difficulté supplémentaire dans le cadre du bilan annuel que les activités à l'étranger sont souvent conduites une partie seulement de l'année.

Ces ordres de grandeurs, donnés pour situer les principaux niveaux d'exposition rencontrés, doivent être mis en perspective avec les limites d'exposition fixées par la réglementation française.

Domaine d'application	Limite
Public	1 mSv/an *
Professionnel (travailleurs exposés)	Sur 12 mois consécutifs, 6 mSv/an ou 20 mSv/an suivant les catégories de travailleurs

* La limite réglementaire pour le public doit être comprise comme venant en plus des expositions d'origine naturelle (non liées aux activités humaines impliquant la radioactivité).

Exposition naturelle

L'irradiation naturelle externe trouve son origine dans le **rayonnement cosmique** (résultant du choc de particules de haute énergie provenant du soleil et des étoiles avec les atomes de l'atmosphère) et le **rayonnement tellurique** (lié aux radioéléments présents dans la croûte terrestre).

L'exposition au rayonnement cosmique varie avec l'altitude (double tous les 1 500 mètres). Elle est en moyenne égale à 0,35 millisieverts (mSv) par an.

L'exposition au rayonnement tellurique est surtout liée à la présence d'uranium et de thorium dans le sol. En France, elle varie de 0,2 à 0,8 mSv par an (avec une moyenne de 0,4 mSv). Elle est surtout élevée dans les régions granitiques de Bretagne et du Massif central. Dans d'autres régions du monde où le sol est riche en thorium, elle peut dépasser 15 mSv par an.

L'exposition interne d'origine naturelle est due aux radioéléments présents dans le sol et qui se retrouvent en petite quantité dans les aliments et l'eau potable (exposition interne par ingestion) et au radon présent dans l'air inspiré (exposition interne par inhalation).

L'irradiation naturelle totale est variable selon la localisation géographique. En France, elle est estimée à 2,4 mSv par an et par habitant.

RADON DANS L'ATMOSPHÈRE DES LOCAUX DE TRAVAIL

Dans les établissements considérés comme exposés au radon en raison de la situation de leurs lieux de travail, l'employeur doit mesurer l'activité « radon ».

Si l'activité volumique moyenne annuelle de radon dépasse 400 Becquerels/m³ (Bq/m³), il doit mettre en œuvre les actions nécessaires pour réduire l'exposition au radon.

Dans les cas les plus simples, le fait de ventiler naturellement et régulièrement les locaux suffit le plus souvent à prévenir les risques d'exposition importante au radon.

Dans les cas les plus complexes, des solutions complètes devront être étudiées et mises en œuvre : revêtements spécifiques, ventilation double flux ; il peut être parfois nécessaire de limiter le temps de présence au poste de travail concerné.

Si l'activité volumique moyenne annuelle de radon dépasse 1000 Becquerels/m³ (Bq/m³), l'employeur est soumis aux dispositions du code du travail concernant la prévention aux rayonnements ionisants.

Exposition professionnelle

Le secteur médical a été historiquement le premier à utiliser couramment des sources radioactives (radiothérapie, radiodiagnostic). Aujourd'hui, de nombreuses techniques utilisant ce type de sources ont des applications industrielles et sont très répandues : radiographie, analyse et contrôle, jauges et traceurs, désinfection ou stérilisation par irradiation, conservation des aliments, chimie sous rayonnement, détection de masses métalliques dans les aéroports, etc.



© Gaël Kerbaol / INRS

Dans l'industrie, les sources de rayonnements ionisants trouvent de nombreuses applications. Ici, un appareil de gammagraphie utilisé pour la vérification des soudures métalliques.

SOURCES RADIOACTIVES : CARACTÉRISTIQUES ET UTILISATION			
TYPE DE SOURCE	CARACTÉRISTIQUE	EXEMPLES D'UTILISATIONS	PRINCIPAUX RISQUES D'EXPOSITION
Sources scellées	Constituées de substances radioactives scellées dans une enveloppe inactive qui empêchent leur dispersion dans les conditions normales d'utilisation.	- Jauges d'épaisseurs (β , γ) - Détecteurs de plomb - Contrôles de soudure (γ) - Jauges de densité ou de niveau (γ) - Humidimètres (neutrons) - Utilisations thérapeutiques médicales	- Appareils défectueux - Mauvaise utilisation (règles de radioprotection non observées) - Perte ou vol de la source
Sources non scellées	Constituées de substances radioactives (solides, liquides ou gazeuses) contenues dans des enveloppes non étanches et présentant un risque de dissémination dans des conditions normales d'utilisation.	- Traceurs industriels- Médecine nucléaire diagnostique (γ) - Médecine nucléaire thérapeutique	Dissémination possible des produits (dispersion, mise en suspension dans l'air, contaminations diverses)
Appareils électriques générateurs X et accélérateurs de particules	Produisent un rayonnement par des procédés physiques (tels les tubes radiogènes ou les accélérateurs de particules)	- Radiologie industrielle et médicale (X) - Accélérateur industriel - Analyses de laboratoires (X) - Radiothérapie (X, électrons)	Risques analogues à ceux des sources scellées, à ceci près qu'il n'y a risque d'exposition que si l'appareil est en fonctionnement

Pour rappel, l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants peut se produire dans les cas suivants :

- localisation des lieux de travail (altitude pour le rayonnement cosmique, teneur dans le sol en radioéléments pour le rayonnement tellurique) ;
- utilisation professionnelle de matières contenant naturellement des radioéléments (et utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité) ;
- utilisation de sources de rayonnements ionisants (dans des conditions normales) ;
- travail en présence ou à proximité de sources de rayonnements ionisants ;
- accident ou incident, dont les principales causes sont des défaillances du matériel (fuites radioactives) ou un manque de formation des personnels utilisateurs du matériel.

Selon les circonstances, cette exposition peut être externe ou interne (ingestion, inhalation ou pénétration par contact de substances radioactives). Les trois derniers cas (utilisation de sources de rayonnements ionisants, travail en présence ou à proximité de sources, incident ou accident), concernent aujourd'hui plus de 270 000 travailleurs (hors industrie nucléaire, c'est à dire industrie non nucléaire, médical et recherche).

Ressources INRS

BROCHURE 05/2013 | ED 4440



Retrait des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI)

Les entreprises détenant des DFCI ne doivent pas les manipuler, les déposer, ni les jeter. Elles doivent faire appel à une société spécialisée, déclarée auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire ¹⁹

¹⁹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204440

BROCHURE 12/2013 | ED 4441



Détecteur portatif de plomb par fluorescence X

Cette fiche "réflexe" synthétise les informations relatives aux risques, aux principales obligations réglementaires, aux bonnes pratiques ainsi qu'aux réflexes à mettre en pratique en cas d'incident ²⁰

²⁰ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204441

BROCHURE 06/2014 | ED 4442



Équipements de contrôle qualité par rayons X dans l'industrie

Cette fiche pratique radioprotection traite des risques liés à l'utilisation d'équipements de contrôle qualité par rayons X, du cadre réglementaire applicable et des bonnes pratiques de prévention. ²¹

²¹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204442

BROCHURE 06/2011 | ED 5027



Les rayonnements ionisants

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :

- lors de l'utilisation de sources radiactives scellées ou non scellées,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité ... ²²

²² www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205027

BROCHURE 02/2006 | ED 958



Les rayonnements ionisants

Ce document est le complément technique de la brochure ED 932 "Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable". Il présente une méthodologie applicable à toute situation de travail susceptible d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants. Les rayonnements ... ²³

²³ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20958

BROCHURE 06/2014 | ED 932



Les rayonnements ionisants

Ce document présente le paysage institutionnel et la réglementation applicable en matière de prévention des risques encourus par les personnes qui, peuvent être exposées à des rayonnements ionisants ²⁴

²⁴ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932

ARTICLE DE REVUE 09/2013 | TM 28



Recherche documentaire sur les risques liés aux rayonnements ionisants

L'objectif de cet article est de fournir une sélection des supports d'information jugés les plus pertinents ainsi qu'une méthodologie de recherche sur les risques liés aux rayonnements ionisants ²⁵

²⁵ www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2028

ARTICLE DE REVUE 06/2014 | NT 13



Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (PCR)

Cet article présente la position commune de l'INRS et de l'IRSN sur le rôle-clé, le statut et les missions de la PCR en matière de prévention ainsi que des propositions d'évolution de ceux-ci. ²⁶

²⁶ www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2013

- ▶ Fiches de radioprotection : fiches médicales
- ▶ Fiches de radioprotection : radionucléides
- ▶ Fiches de radioprotection : gammagraphie
- ▶ Fiches de radioprotection : secteur médical
- ▶ Évolutions en matière de radioprotection et conséquences sur l'accès aux données dosimétriques

Liens utiles

Sites d'organismes français

- ▶ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
- ▶ Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
- ▶ Légifrance
- ▶ Société française de radioprotection (SFRP)
- ▶ Retours d'expériences sur les incidents radiologiques (RELIR)

Sites d'organismes internationaux

- ▶ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- ▶ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- ▶ International Atomic Energy agency (IAEA)

Autres références bibliographiques

- Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France. Bilan 2012 ». Rapport PRP-HOM / 2013-008. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2012, 104 p.
Rapport téléchargeable sur le site de l'IRSN : www.siseri.irsn.fr²⁷
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P. « Guide pratique. Radionucléides et radioprotection. Manuel pour la manipulation de substances radioactives dans les laboratoires de faible et moyenne activité ». 4e édition mise à jour. EDP Sciences, 2004, 262 p. Edité en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société française de radioprotection (SFRP) et la revue Radioprotection.
- THEVENIN J.C. « Instrumentation pour la dosimétrie individuelle des travailleurs ». Génie nucléaire BN 3490. Doc BN 3490. Techniques de l'ingénieur, 2003, 16 p., 4 p.
- TUBIANA M., LALLEMAND J. « Radiobiologie et radioprotection ». Que sais-je ? n° 2439. Presses universitaires de France (PUF), 2002, 128 p.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., BOISSIERE G. « Manuel pratique de radioprotection ». 3e édition. Technique et documentation Lavoisier, 2007, 666 p.
- GAURON MC., BOULAY MH. « Radioprotection ». Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-700-A-10. Editions techniques, 2(2005) 185-197.
- « Symboles graphiques et pictogrammes. Couleurs et signaux de sécurité ». Norme française homologuée. NF X08-003. Association française de normalisation (AFNOR), 1994 (erratum de mars 1995), 47 p.
- « Signalisation des rayonnements ionisants. Schéma de base ». Norme française homologuée. NF M 60-101. Association française de normalisation (AFNOR), 1972, 2 p.

²⁷ [siseri.irsn.fr/](http://www.siseri.irsn.fr/)

Mis à jour le 16/06/2015

Effets sur la santé

Effets biologiques d'une exposition

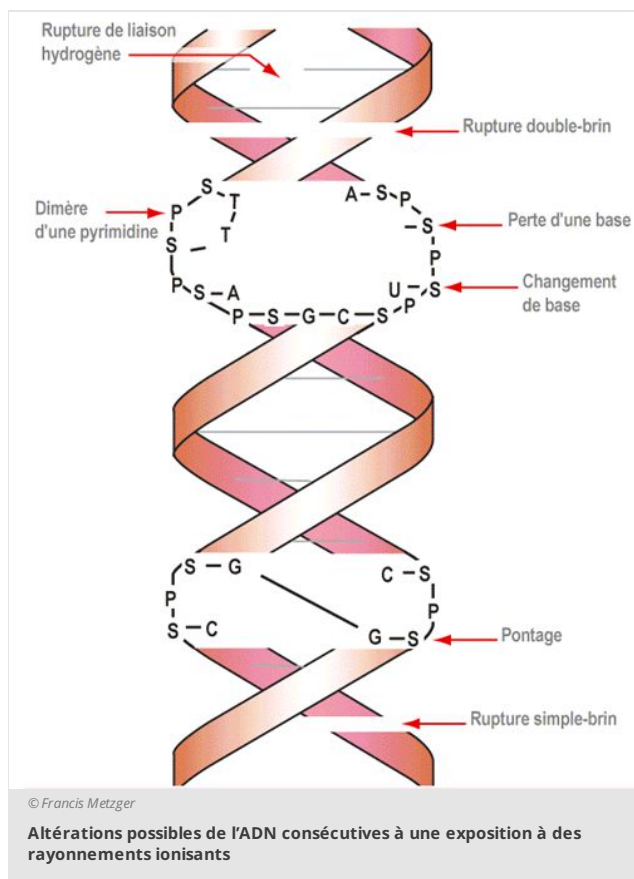
Le transfert d'énergie des rayonnements ionisants à la matière vivante est responsable des effets biologiques de ces rayonnements. Cette ionisation affecte les cellules des tissus ou des organes exposés, de sorte que les processus biologiques des cellules sont perturbés. Cela peut conduire à :

- l'ionisation des molécules (radiolyse), modifiant leurs propriétés chimiques. Les constituants chimiques de la cellule vivante ne peuvent plus alors jouer leur rôle.
- l'altération de l'ADN, qui a un rôle de « chef d'orchestre » dans la vie cellulaire.

Ces lésions de l'ADN sont de plusieurs types, essentiellement des ruptures simple brin et double brins.

Un système de réparation enzymatique dans la cellule permet de réparer rapidement les lésions de premier type (ruptures simples brins). Dans les autres cas, la réparation peut être incomplète.

Ces lésions d'ADN, mal réparées, peuvent, dans certains cas, empêcher la reproduction cellulaire ou entraîner la mort de la cellule. Cette mortalité cellulaire est liée à l'importance de l'irradiation : le nombre de cellules tuées est directement proportionnel à la dose reçue par la matière vivante.



L'importance et la nature des lésions cellulaires, pour une même dose d'exposition, dépend des facteurs suivants :

- mode d'exposition (externe ou interne) ;
- nature des rayonnements ;
- débit de la dose reçue (une même dose reçue en peu de temps est bien plus nocive que si elle est étalée dans le temps) ;
- certains facteurs chimiques ou physiques influant sur la sensibilité cellulaire (température, présence de certaines substances chimiques tels l'oxygène) ;
- type des cellules exposées : les cellules qui ont un potentiel de multiplication important (dites « indifférenciées », telles les cellules de la moelle osseuse) sont d'autant plus « radiosensibles ».

Conséquences d'une exposition sur la santé

Les effets sur l'organisme des rayonnements sont de deux types :

- les effets à court terme, dits déterministes, liés directement aux lésions cellulaires et pour lesquels un seuil d'apparition a été défini ;
- les effets à long terme et aléatoires (ou stochastiques) : cancers et anomalies génétiques.

Ils se manifestent de quelques heures à plusieurs mois / années après l'irradiation.

Les effets déterministes, pour une exposition à des rayonnements gamma ou X, apparaissent à partir d'une dose d'irradiation de 0,15 Grays (Gy). En revanche, il n'a pas été possible de mettre en évidence l'existence d'un seuil pour les effets aléatoires. Ces derniers sont donc considérés comme sans seuil.

Effets déterministes

A partir d'un certain seuil d'irradiation, apparaissent des effets pathologiques directement liés aux lésions cellulaires. On distingue les effets liés à une irradiation partielle ou globale.

Les tissus les plus sensibles en cas d'irradiation sont les tissus reproducteurs, les tissus impliqués dans la formation des cellules sanguines (rate, moelle osseuse...), le cristallin de l'œil, la peau. Une irradiation locale cutanée peut entraîner par exemple, selon les doses, un érythème, une ulcération ou une nécrose. En cas d'irradiation globale du corps humain, le pronostic vital est lié à l'importance de l'atteinte des tissus les plus radiosensibles (moelle osseuse, tube digestif).

Pour des rayonnements gamma ou X, à partir de 4,5 Grays (Gy), la moitié des accidents par irradiation, en l'absence de traitement, sont mortels.

EFFETS DÉTERMINISTES DÉCRITS POUR DES EXPOSITIONS À DES RAYONNEMENTS GAMMA OU X	
Effets déterministes recensés	Dose d'irradiation
Diminution temporaire des spermatozoïdes	à partir de 0,15 Gy
Diminution temporaire des leucocytes (famille de globules blancs)	de 0,2 à 1 Gy
Atteinte oculaire : opacités détectables	à partir de 0,5 Gy
Nausée, asthénie Modification de la formule sanguine Effet immunodépresseur (risques d'infections) <i>Sous surveillance médicale, le retour à la normale se produit rapidement.</i>	de 1 à 2 Gy
Risque de stérilité féminine	à partir de 2,5 Gy
Erythème	3 Gy
Stérilité masculine définitive	de 3,5 à 6 Gy
Aplasie (arrêt ou insuffisance du développement d'un tissu ou d'un organe). En l'absence de traitement, au moins la moitié des personnes irradiées meurent et il existe des risques de séquelles.	à partir de 4,5 Gy
Atteinte gastro-intestinale	6 Gy
Atteinte pulmonaire	8 Gy
Coma, mort cérébrale Mort inévitable	au delà de 10 Gy

Effets aléatoires (ou stochastiques)

Ces effets peuvent survenir de façon aléatoire au sein d'une population ayant subi une exposition identique et sans qu'un seuil ait pu être vraiment défini. Ce sont les cancers et les anomalies génétiques (mutations).

Les causes de variation de la mortalité par cancer ne sont pas toujours faciles à mettre en évidence.

Les études épidémiologiques portant sur des enfants traités par radiothérapie ont mis en évidence une augmentation de risque de cancer thyroïdien à partir d'une dose équivalente de 100 milliSieverts (mSv) (la thyroïde de l'enfant est très radiosensible). Après l'accident de Tchernobyl en 1984, la surveillance de la population des territoires les plus contaminés a mis en évidence une augmentation importante des cancers thyroïdiens chez les personnes qui avaient moins de 18 ans lors de l'accident.

La surveillance des populations d'Hiroshima confirme une augmentation de risques de cancer à partir d'une dose d'exposition estimée de l'ordre de 100mSv.

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 ».

Le délai de survenue de la maladie est long : de l'ordre de 5 ans pour les leucémies, jusqu'à 50 ans pour les autres cancers.

En ce qui concerne les mutations génétiques après irradiation, elles n'ont été mises en évidence qu'expérimentalement, sur la mouche et la souris. Les études épidémiologiques n'ont pas permis de mettre en évidence de manière certaine une augmentation des effets génétiques dans la descendance des populations humaines irradiées.

Aucune étude épidémiologique n'a permis de mettre en évidence une augmentation significative de la fréquence des cancers ou des maladies héréditaires chez les personnes exposées à une irradiation naturelle élevée. De même, aucun risque sanitaire significatif lié aux concentrations en radon rencontrées habituellement dans les bâtiments et logements n'a été mis en évidence.

Cas particulier : exposition du fœtus

Exposition aux rayonnements ionisants de l'embryon ou du fœtus : état des connaissances

La sensibilité de l'embryon et du fœtus existe durant toute la période de grossesse, à des degrés très variables. Les travaux récents confirment que le dommage principal est le retard mental.

On admet généralement que le risque est négligeable pour une dose inférieure ou égale à 100 milliSievert (mSv).

Une éventuelle interruption de grossesse sera envisagée à partir d'une exposition de 200 mSv.

Ces niveaux de dose peuvent être mis en perspective avec le niveau de 1 mSv, limite d'exposition du fœtus ou de l'embryon imposée par la réglementation.

Maladies professionnelles

Les affections provoquées par les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants sont couvertes par les tableaux des maladies professionnelles n° 6 (régime général de la Sécurité sociale)²⁸ et n° 20 (régime agricole)²⁹.

²⁸ www.inrs-mp.fr/mp/cgi-bin/tableau.pl?tabkey=TAB_RG6

²⁹ www.inrs-mp.fr/mp/cgi-bin/tableau.pl?tabkey=TAB_RA20

Pour en savoir plus

Ressources INRS

BROCHURE 05/2013 | ED 4440



Retrait des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI)

Les entreprises détenant des DFCI ne doivent pas les manipuler, les déposer, ni les jeter. Elles doivent faire appel à une société spécialisée, déclarée auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire ³⁰

³⁰ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204440

BROCHURE 12/2013 | ED 4441



Détecteur portatif de plomb par fluorescence X

Cette fiche "réflexe" synthétise les informations relatives aux risques, aux principales obligations réglementaires, aux bonnes pratiques ainsi qu'aux réflexes à mettre en pratique en cas d'incident ³¹

³¹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204441

BROCHURE 06/2014 | ED 4442



Équipements de contrôle qualité par rayons X dans l'industrie

Cette fiche pratique radioprotection traite des risques liés à l'utilisation d'équipements de contrôle qualité par rayons X, du cadre réglementaire applicable et des bonnes pratiques de prévention. ³²

³² www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204442

BROCHURE 06/2011 | ED 5027



Les rayonnements ionisants

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :
- lors de l'utilisation de sources radioactives scellées ou non scellées,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité ... ³³

³³ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205027

BROCHURE 02/2006 | ED 958



Les rayonnements ionisants

Ce document est le complément technique de la brochure ED 932 "Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable". Il présente une méthodologie applicable à toute situation de travail susceptible d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants.

Les rayonnements ... ³⁴

³⁴ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20958

BROCHURE 06/2014 | ED 932



Les rayonnements ionisants

Ce document présente le paysage institutionnel et la réglementation applicable en matière de prévention des risques encourus par les personnes qui, peuvent être exposées à des rayonnements ionisants ³⁵

³⁵ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932



Recherche documentaire sur les risques liés aux rayonnements ionisants

L'objectif de cet article est de fournir une sélection des supports d'information jugés les plus pertinents ainsi qu'une méthodologie de recherche sur les risques liés aux rayonnements ionisants ³⁶

³⁶ www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2028

- ▶ Fiches de radioprotection : fiches médicales
- ▶ Fiches de radioprotection : radionucléides
- ▶ Fiches de radioprotection : gammagraphie
- ▶ Fiches de radioprotection : secteur médical
- ▶ Évolutions en matière de radioprotection et conséquences sur l'accès aux données dosimétriques



Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (PCR)

Cet article présente la position commune de l'INRS et de l'IRSN sur le rôle-clé, le statut et les missions de la PCR en matière de prévention ainsi que des propositions d'évolution de ceux-ci. ³⁷

³⁷ www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2013

Liens utiles

Sites d'organismes français

- ▶ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
- ▶ Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
- ▶ Légifrance
- ▶ Société française de radioprotection (SFRP)
- ▶ Retours d'expériences sur les incidents radiologiques (RELIR)

Sites d'organismes internationaux

- ▶ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- ▶ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- ▶ International Atomic Energy Agency (IAEA)

Autres références bibliographiques

- Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France. Bilan 2012 ». Rapport PRP-HOM / 2013-008. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2012, 104 p.
Rapport téléchargeable sur le site de l'IRSN : www.siseri.irsn.fr ³⁸
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P. « Guide pratique. Radionucléides et radioprotection. Manuel pour la manipulation de substances radioactives dans les laboratoires de faible et moyenne activité ». 4e édition mise à jour. EDP Sciences, 2004, 262 p. Edité en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société française de radioprotection (SFRP) et la revue Radioprotection.
- THEVENIN J.C. « Instrumentation pour la dosimétrie individuelle des travailleurs ». Génie nucléaire BN 3490. Doc BN 3490. Techniques de l'ingénieur, 2003, 16 p., 4 p.
- TUBIANA M., LALLEMAND J. « Radiobiologie et radioprotection ». Que sais-je ? n° 2439. Presses universitaires de France (PUF), 2002, 128 p.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., BOISSIERE G. « Manuel pratique de radioprotection ». 3e édition. Technique et documentation Lavoisier, 2007, 666 p.
- GAURON MC., BOULAY MH. « Radioprotection ». Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-700-A-10. Editions techniques, 2(2005) 185-197.
- « Symboles graphiques et pictogrammes. Couleurs et signaux de sécurité ». Norme française homologuée. NF X08-003. Association française de normalisation (AFNOR), 1994 (erratum de mars 1995), 47 p.
- « Signalisation des rayonnements ionisants. Schéma de base ». Norme française homologuée. NF M 60-101. Association française de normalisation (AFNOR), 1972, 2 p.

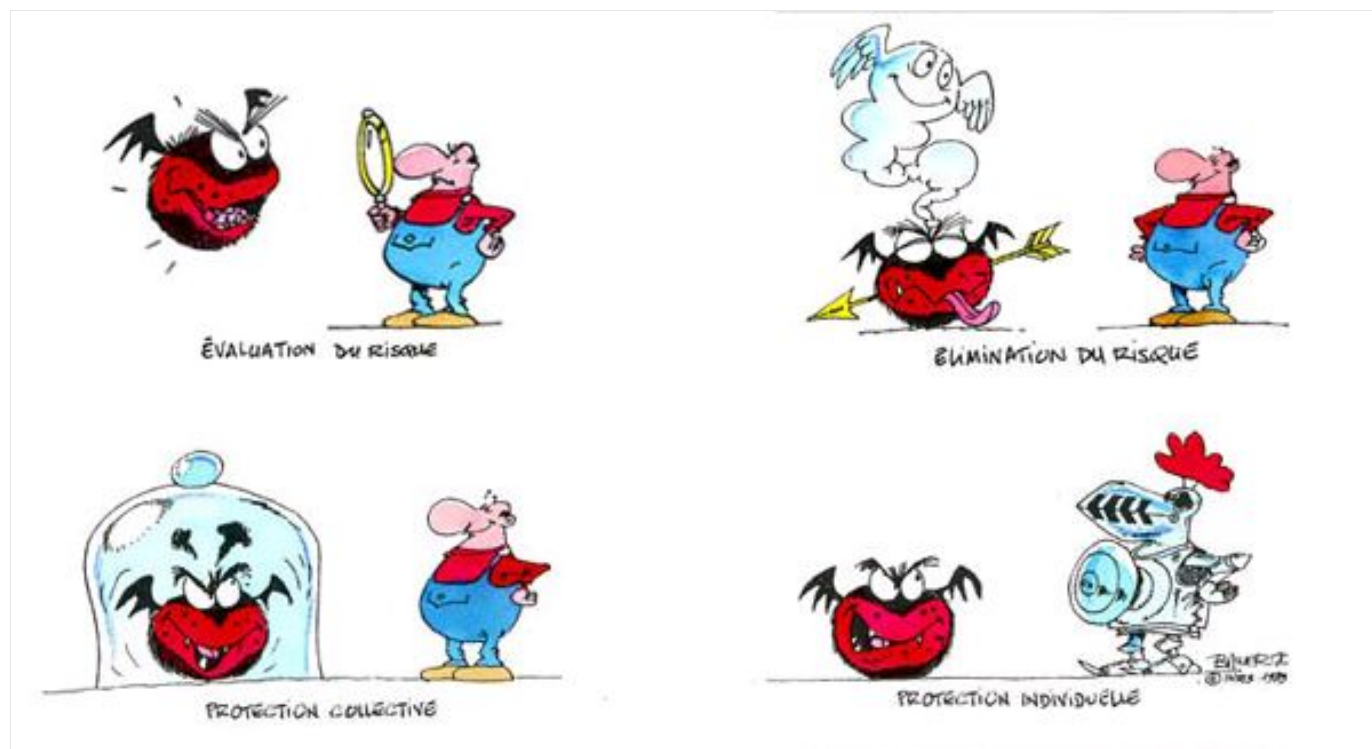
³⁸ siseri.irsn.fr/

Mis à jour le 16/06/2015

Démarche de prévention

Démarche globale de prévention

Quatre grands principes régissent toute démarche de prévention : tout d'abord **l'évaluation du risque**, dans la mesure du possible **l'élimination du risque**, sinon la mise en place de **protections collectives** et en dernier ressort, la **protection individuelle**. La prévention doit être intégrée le plus en amont possible, en passant par des mesures d'organisation du travail, d'information et de formation.



© Jean-Claude Bauer / INRS

Quelques grands principes d'une démarche de prévention

Schéma général de prévention d'après le Code du travail (article L. 4121)

- Evaluer les dangers et les risques
- Intégrer la sécurité en amont
- Organiser le travail
- Limiter les conséquences
- Informer sur les risques et leur prévention
- Former à la sécurité

Evaluation des risques

Il est fondamental d'identifier dans un premier temps les risques inhérents à toute activité, ainsi que les événements ou les facteurs de risque qui peuvent conduire à la survenue de ces risques.

En matière de radioprotection, les risques sont :

- un risque d'exposition externe à des rayonnements ionisants ;
- un risque de contamination externe ou interne par des substances radioactives ;
- tous les autres risques associés, et en particulier : risque chimique (réactivité, corrosion, incendie, explosion), risques liés au poste de travail, risques liés à l'organisation du travail.

Tous ces risques doivent être évalués et quantifiés dans la mesure du possible : cela passe par l'identification et la caractérisation des sources et des rayonnements, ainsi que par la caractérisation des situations de travail, c'est-à-dire des expositions.

Pour rappel, **les articles L. 4121-1 et suivants du Code du travail mettent à la charge de l'employeur l'obligation d'évaluer les risques professionnels. Le résultat de cette évaluation des risques doit être transcrit dans le Document Unique (DU) (article R. 4121-1 et suivants du Code du travail)** Par ailleurs, l'employeur doit à tenir ces résultats à disposition du CHSCT (ou à défaut des délégués du personnel), de l'inspecteur du travail, du médecin du travail et des agents des services de prévention des organismes de la Sécurité sociale.

Voir la rubrique **Evaluation des risques professionnels**³⁹.

³⁹ www.inrs.fr/demarche/evaluation-risques-professionnels.html

En radioprotection, comme dans d'autres domaines, il est primordial d'**intégrer la sécurité le plus en amont possible**, en prenant en compte tous les aspects (organisationnels, opérationnels, chimiques, ionisants...).

Pour des situations déjà existantes pour lesquelles des risques d'exposition externe ou interne ont été mis en évidence, il est indispensable de renouveler cette phase d'évaluation et de quantification du risque et de vérifier que les mesures de radioprotection sont bien appliquées. Dans un premier temps, après avoir localisé et inventorié toutes les sources utilisées, il est notamment primordial de vérifier que :

- le repérage et la signalisation du risque sont bien effectués ;
- les doses d'exposition ne dépassent pas les valeurs réglementaires établies.

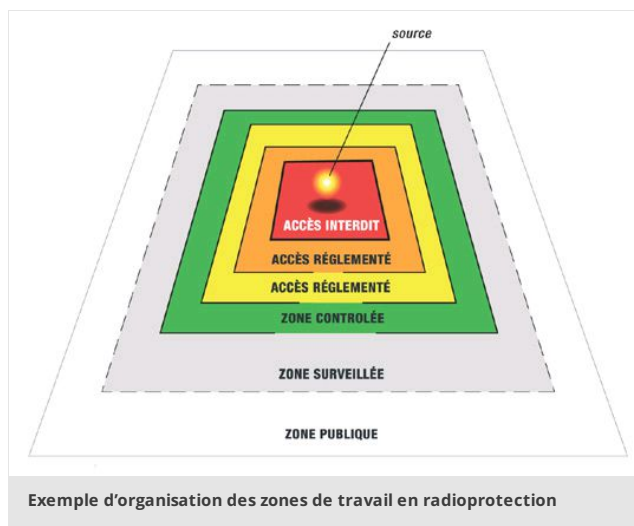
Vérification du repérage et de la signalisation du risque ambiant

Le danger radioactif est lié à la présence de sources radioactives (générateurs ou substances). Le risque « rayonnements » étant invisible et impalpable, **le repérage rigoureux des zones à risque d'exposition et des sources revêt une importance particulière.**

Il convient d'indiquer que des murs ordinaires ou des cloisons ne sont pas un obstacle à la propagation de certains rayonnements ionisants. De plus, ceux-ci peuvent être réfléchis et diffusés par les murs, sols ou plafonds.

La délimitation de zones, définies en fonction de l'exposition potentielle aux rayonnements ionisants, permet de hiérarchiser les niveaux d'exposition. Un texte réglementaire précise les modalités de délimitation de ces zones (zone contrôlée ou surveillée), les règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont applicables, ainsi que les règles d'accès et d'affichage (voir **ED 932**⁴⁰).

⁴⁰ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932



La réglementation française précise un certain nombre de règles concernant ces zones de travail. Les principaux points suivants peuvent être signalés :

- La délimitation de zones de travail autour de toute source de rayonnements ionisants est obligatoire. Cette délimitation peut être modifiée en cas de besoin, en fonction de résultats de contrôle, à la suite d'une modification de l'installation, ou après un incident ou un accident.
- La zone surveillée correspond à l'espace de travail autour de la source dans lequel les travailleurs sont susceptibles d'être exposés, dans des conditions normales de travail, à une dose efficace supérieure à 1 mSv par an, ou à une dose équivalente dépassant les 1/10e des limites annuelles réglementaires.
- La zone contrôlée correspond à l'espace de travail autour de la source dans lequel les travailleurs sont susceptibles d'être exposés, dans des conditions normales de travail, à une dose efficace supérieure à 6 mSv par an, ou à une dose équivalente dépassant les 3/10e des limites annuelles réglementaires.
- Les conditions d'accès en zones réglementées sont nombreuses (formation, suivi dosimétrique...). A noter que l'accès à la zone contrôlée est réservé aux personnes qui ont reçu du chef d'établissement la notice rappelant les risques particuliers liés au poste occupé ou à l'intervention à effectuer, les règles de sécurité applicables et les instructions à suivre en cas de situation anormale.
- Les limites de la zone contrôlée ou de la zone surveillée doivent être correctement matérialisées et signalisées.
- A l'intérieur des zones surveillées comme des zones contrôlées, les sources utilisées doivent être signalées. L'affichage doit être remis à jour périodiquement : il rappelle notamment les risques d'exposition externe, et éventuellement interne, les consignes de travail adaptées à la nature de l'exposition et aux opérations envisagées.
- A l'intérieur de la zone contrôlée, il peut y avoir des zones spécialement réglementées, soumises à d'autres règles d'accès, et des interdictions d'accès (par risque d'exposition croissant, zone jaune, zone orange et zone rouge).
- L'étiquetage des substances radioactives pendant leur transport est obligatoire.



© P. Costano / INRS

Pictogramme de signalisation à l'entrée d'un local de radiographie industrielle

En matière de signalisation de santé et de sécurité, la réglementation définit des règles à minima (forme, couleur, dimension ou emplacement). C'est au chef d'établissement d'adapter ces règles à la réalité des situations de travail et des risques à signaler dans son entreprise. Quelques exemples couramment utilisés dans le domaine de la radioprotection sont donnés dans le tableau ci-après.

SIGNALISATION DU RISQUE RADIOACTIF : PICTOGRAMME, PANNEAUX ET AUTRES ÉLÉMENTS

Pictogramme d'avertissement



Matières radioactives / Radiations ionisantes

Panneaux de signalisation de zone

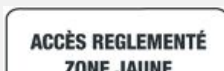
Ne sont donnés ici à titre d'exemple que 6 panneaux. En fonction de la nature du risque à signaler, les messages accompagnant le pictogramme, ainsi que les couleurs, peuvent être intervertis.*

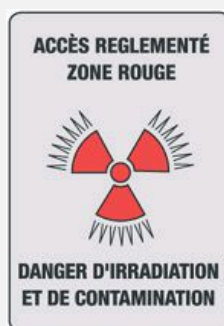
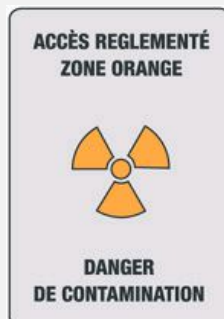


Zone surveillée (grise)



Zone contrôlée simple (verte)





Bandes de balisage



Affichage réglementaire d'information

Protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants

Cet affichage, remis à jour régulièrement, doit comporter notamment les consignes de travail et de sécurité adaptées à la nature de l'exposition et aux opérations envisagées.

Des exemples existent et sont commercialisés par des entreprises de signalétique.

La signalisation des zones spécialement réglementées ou interdites est établie à partir du schéma de base normalisé (trisection conforme à la norme NF M 60-101) de couleur identique à celle de la zone considérée. Les panneaux de signalisation sur lesquels figurent ce schéma de base peuvent comporter, si nécessaire, des signes ou inscriptions supplémentaires » (arrêté du 15 mai 2006)

La norme française M 60-101 ne définit que la forme et les proportions du trisection utilisé en radioprotection. Les couleurs de signalisation sont définies par la norme NF X 08-003.

Lieux de travail et radioprotection : les principales questions à se poser (liste non exhaustive)

- La zone contrôlée est-elle bien définie et signalée (notamment dans les cas où celle-ci est étendue ou temporaire) ?
- La diffusion des rayonnements à travers murs, plafonds, sols, et leurs réflexions sur ces obstacles ont-elles été correctement prises en compte ? Les salariés en sont-ils bien informés ?
- Dispose-t-on d'appareils de mesure de débit de dose dans les zones à risque et à proximité ? Sont-ils en bon état ? Sont-ils contrôlés régulièrement ?
- Quels sont les débits de dose aux abords immédiats de la zone contrôlée ?
- Aux abords de la zone contrôlée, existe-t-il une zone surveillée ou une zone publique ?
- Vérifie-t-on régulièrement l'inexistence de contamination des locaux de travail (surfaces, paillasse, air ambiant) ? Dispose-t-on du matériel pour le faire ?
- Comment les sources radioactives sont-elles manipulées, stockées et transportées ?
- Est-on correctement protégé pendant l'utilisation et hors utilisation ?
- Les containers de stockage sont-ils efficaces ? Les locaux de stockage sont-ils suffisamment à l'écart des lieux fréquentés ? Sont-ils signalés comme lieu de stockage de matières radioactives ?

Quantification du risque pour l'individu

En matière de rayonnements ionisants, la notion la plus importante pour évaluer le risque est la quantité de rayonnement reçue en lien avec la durée d'exposition. Pour rappel, les grandeurs utilisées à cette fin sont la « dose équivalente » pour les organes et la « dose efficace » pour le corps entier.

Les résultats de cette quantification doivent toujours être mis en perspective des limites réglementaires existantes.

La mesure des doses reçues par les personnes exposées s'effectue par différentes techniques de dosimétrie.

Intégrer la sécurité en amont

Pour toute situation de travail, et tout environnement de travail, peuvent être identifiés des risques multiples : mécaniques, chimiques, physiques, radiologiques...

Le rôle du préventeur est de prévenir ou de limiter les risques d'accidents du travail et de maladies professionnelles : le préventeur va agir le plus en amont possible, au niveau technique, opérationnel ou organisationnel, pour empêcher la survenue d'événements dangereux susceptibles d'entraîner ces risques.

Pour cela, il peut :

- mettre en place des processus de travail sûrs (enchaînements d'opérations ou de phases de fabrication qui limitent la survenue d'accidents du travail ou les expositions susceptibles d'induire une maladie professionnelle) ;
- agir ensuite sur les risques « résiduels », en prévoyant des mesures complémentaires de protection collective, organisationnelles ou individuelles, qui vont limiter les expositions.

Dans le cas particulier de la radioprotection, le préventeur peut agir selon les cas sur plusieurs points :

- mise en place de **processus industriels et de méthodes de travail sûrs** ;
- **confinement des matières radioactives** (éviter toute dispersion dans les locaux de travail et dans l'environnement) dans toutes les phases où c'est possible (transport, manipulation, utilisation) ;
- **assainissement et traitement de l'atmosphère** des locaux de travail ;
- **limitation de l'exposition aux rayonnements ionisants** provenant de sources radioactives (matières, émission commandée) : utilisation de collimateurs ou d'écrans, travail à distance, exposition directe évitée, délimitation de zones, organisation du travail de façon à réduire les doses le plus possible, interventions de durée limitée.

Tous ces éléments doivent être pris en considération dès la conception des processus industriels ou des postes de travail. Ils doivent conduire à une limitation maximale du risque résiduel (accident du travail, maladie professionnelle).

Autres aspects fondamentaux de la radioprotection

La gestion du risque en radioprotection est fondée sur la reconnaissance de l'hypothèse « d'absence d'effets de seuil », c'est à dire que toute exposition, aussi faible soit-elle, peut entraîner des risques pour la santé (survenue de cancer notamment).

Des compromis doivent être trouvés entre le risque d'exposition et sa justification, aussi bien en terme techniques (pour quelle activité ? qui ? à quelle exposition ? ...) que socio-économiques.

Il a été fixé réglementairement des valeurs limites d'exposition aux rayonnements ionisants. En cas d'exposition, le respect de ces valeurs exclut l'apparition d'effets déterministes et réduit l'apparition des effets aléatoires tels que le cancer.

La radioprotection est basée sur trois idées maîtresses :

- la **justification** : l'utilisation de rayonnements ionisants doit apporter un bénéfice par rapport au risque radiologique ;
- l'**optimisation** : maintenir les expositions ou les probabilités d'exposition aussi basses que raisonnablement possible, compte tenu des impératifs techniques et économiques (principe ALARA « as low as reasonably achievable ») ;
- la **limitation des doses individuelles**, respectant les valeurs limites réglementaires, basée sur deux principes :
 - exclure les effets déterministes, en maintenant les doses inférieures aux seuils connus (protection absolue) ;
 - réduire les effets stochastiques pour lesquels il n'existe pas de seuil. A cette fin, les connaissances relatives aux fortes expositions ont été extrapolées pour les faibles expositions.

Une surveillance médicale des personnes exposées doit être également mise en œuvre. Les personnes susceptibles d'être exposées doivent être informées et formées.

Une réglementation très stricte a été établie pour la protection des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants : protection des travailleurs (y compris les travailleurs non salariés), protection du public et de l'environnement, protection des patients, protection des personnels des unités d'intervention d'urgence.

La réglementation concernant le monde du travail porte notamment sur :

- la responsabilité de l'employeur,
- la désignation de personnes compétentes,
- le classement du personnel,
- la définition de zones de travail,
- le suivi médical des personnes potentiellement exposées,
- le contrôle de l'ambiance des lieux de travail,
- le contrôle des expositions par dosimétrie,
- le contrôle des installations et des sources,
- la traçabilité des matières radioactives,
- la maîtrise des rejets dans l'environnement,
- la collecte et l'élimination des déchets, ainsi que leur traitement via une filière spécialisée.

En résumé, la radioprotection est mise en œuvre par des mesures qui peuvent être administratives, organisationnelles, et techniques en matière d'organisation du travail et des conditions de travail.

Principes généraux de prévention en radioprotection

- Rendre impossible l'exposition par contact, inhalation ou ingestion de matières radioactives par le confinement des matières (boîte à gants, enceinte confinée), l'assainissement des locaux de travail (atmosphère et surfaces) ou le port de protection individuelle
- Limiter ou rendre impossible l'exposition aux rayonnements émis par des matières radioactives ou des appareils générateurs électriques, en maîtrisant la durée de l'exposition, en travaillant le plus possible à distance et en utilisant des moyens de protection (écrans, équipements de protection individuelle adaptés)

Contrôle des expositions, en pratique

Afin de garantir la sécurité et la santé des salariés, l'employeur est tenu de procéder à des contrôles techniques portant à la fois sur les sources et appareils émetteurs de rayonnements ionisants et l'ambiance des locaux de travail.

Contrôles technique des sources et appareils

Les sources et appareils de rayonnements ionisants, les dispositifs de protection et d'alarme ainsi que les instruments de mesure sont contrôlés périodiquement :

- par la personne compétente désignée par l'employeur
- par un organisme agréé par l'ASN (Autorité de sûreté nucléaire)

Contrôles techniques d'ambiance

Afin d'aider à l'évaluation de l'exposition externe et interne des travailleurs, l'employeur fait procéder à des contrôles d'ambiance qui sont effectués :

- par une surveillance des rayonnements (bêta, X, gamma, neutrons) ;
- par une surveillance de la contamination, par un ou plusieurs radioéléments, des lieux de travail (de l'air ou des surfaces telles que sols, murs, plans de travail).

Pour chaque surveillance, des appareils adaptés aux mesures à effectuer doivent être utilisés.

Surveillance des rayonnements

Pour effectuer cette surveillance, il existe :

- des appareils capables de mesurer l'ensemble des rayonnements (radiamètres) ;
- des appareils spécifiques à un type de rayonnements, pour certains cas particuliers ;
- des balises d'alarme, visuelles ou sonores.



Surveillance des contaminations

Une instrumentation très variée est disponible sur le marché pour effectuer une surveillance de la contamination atmosphérique. Elle permet :

- soit la mesure en continu de la contamination ;
- soit la mesure par échantillonnage (suivi d'une analyse de l'échantillon) ;
- soit la simple détection d'une contamination.

Le contrôle de la contamination des surfaces peut être effectué par frottis qui sont ensuite analysés ou par la mesure directe à l'aide de détecteurs adaptés à chaque type de contamination. Ceux-ci doivent être mis à la disposition du personnel, notamment lorsqu'il utilise des sources non scellées.

Quand une contamination des lieux de travail a été mise en évidence, il existe une forte présomption de contamination du personnel. Il est alors indispensable de contrôler et de traiter cette contamination.



Contrôle des personnes

Contrôle de contamination

A la fin d'un travail, en sortie d'une zone exposant à une contamination, une recherche de la contamination du personnel doit être effectuée systématiquement à l'aide de détecteurs (corps entier, main, pieds). Ces appareils mesurent le(s) rayonnement(s) émis par les substances radioactives déposées sur les vêtements ou le corps.

Si une contamination est mise en évidence, il est également indispensable de vérifier s'il y a eu ou non exposition interne. Et dans tous les cas, des mesures de décontamination doivent être mises en œuvre.



Dosimétrie

La dosimétrie consiste à mesurer les doses reçues par les personnes exposées, c'est à dire attribuer une valeur aux grandeurs telles que « dose équivalente » ou « dose efficace ».

Elle permet de vérifier que les expositions restent, pour chaque travailleur exposé, de l'ordre de grandeur des doses prévisionnelles pour le poste de travail. Si ce n'était pas le cas, il faudrait identifier les expositions non maîtrisées et prendre les mesures nécessaires pour les éviter.

Exposition externe

La mesure de l'exposition externe se fait à l'aide de dosimètres portés par les travailleurs. Plusieurs types sont disponibles :

- **Dosimètres thermoluminescents** (appelés aussi TLD), détectent les rayons X, β et γ . Ils utilisent des matériaux (pastilles extrudées, frittés, poudres) qui, soumis à une irradiation puis chauffés, émettent de la lumière, proportionnellement à la dose reçue. Les TLD sont utilisés pour des dosimétries corps entier ou extrémités. Ils sont plus sensibles que les dosimètres photographiques, et sont réutilisables plusieurs centaines de fois. La lecture, pouvant se faire à l'aide d'un lecteur automatique, se fait en chauffant le matériau. L'émission de lumière entraîne la « remise à zéro » du TLD. Les dosimètres TLD (Fli6/Fli7) sont destinés à détecter les neutrons.



© P. Delapierre / INRS

Dosimètre passif

- **Dosimètres radio-photo-luminescents** (appelés aussi RPL) : sous l'effet du rayonnement les électrons arrachés à la structure de verre du dosimètre sont piégés par les impuretés contenues dans le verre. La lecture se fait sous lumière UV qui désexcite les électrons en émettant une luminescence qui est proportionnelle à la dose reçue. Ces dosimètres sont encore assez peu utilisés en Europe.
- **Dosimètres opérationnels ou actifs**, à lecture directe, permettant le suivi de l'exposition en temps réel et l'optimisation de la dose reçue. Ils doivent être choisis en fonction du type de rayonnement à mesurer, et de ses caractéristiques. Ces dosimètres électroniques doivent être pourvus d'alarmes auditives et visuelles, et ces alarmes doivent être activées lors de toute utilisation.



© MPG Instruments Groupe Synodys

© « MPG Instruments Groupe Synodys »

Dosimètre électronique opérationnel



© G.J. Plisson / INRS

Technicien en radiographie industrielle équipé d'un dosimètre opérationnel et d'un dosimètre passif

Exposition interne

L'importance de l'exposition interne liée à la présence d'une substance radioactive dans le corps humain va dépendre non seulement de la période physique du radionucléide, mais également de sa période biologique. La période biologique est le temps nécessaire pour que la moitié de la masse du radionucléide absorbé soit éliminé par le métabolisme du corps. La grandeur qui caractérise l'exposition interne est la dose équivalente engagée.

Cette exposition interne est difficile à mesurer : on fait appel à plusieurs techniques de mesures. Ces techniques recouvrent **des analyses qui permettent d'évaluer la nature et la gravité de l'exposition** : dosage d'isotopes dans les urines, le sang ou les sécrétions, anthroporadiométrie... Leur mise en œuvre permet de détecter et d'identifier un corps radioactif dans l'organisme. Ces examens sont prescrits par le médecin du travail. Ces analyses doivent être conduites sans délai, dès qu'il y a suspicion d'exposition interne.

A partir des résultats, est calculée la dose équivalente engagée reçue par la personne suite à cette incorporation de radioactivité.

Pour en savoir plus

Ressources INRS

BROCHURE 05/2013 | ED 4440



Retrait des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI)

Les entreprises détenant des DFCI ne doivent pas les manipuler, les déposer, ni les jeter. Elles doivent faire appel à une société spécialisée, déclarée auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire ⁴¹

⁴¹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204440

BROCHURE 12/2013 | ED 4441



Détecteur portatif de plomb par fluorescence X

Cette fiche "réflexe" synthétise les informations relatives aux risques, aux principales obligations réglementaires, aux bonnes pratiques ainsi qu'aux réflexes à mettre en pratique en cas d'incident ⁴²

⁴² www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204441



Équipements de contrôle qualité par rayons X dans l'industrie

Cette fiche pratique radioprotection traite des risques liés à l'utilisation d'équipements de contrôle qualité par rayons X, du cadre réglementaire applicable et des bonnes pratiques de prévention. ⁴³

⁴³ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204442



Les rayonnements ionisants

Ce document est le complément technique de la brochure ED 932 "Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable". Il présente une méthodologie applicable à toute situation de travail susceptible d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants.

Les rayonnements ... ⁴⁵

⁴⁵ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20958



Recherche documentaire sur les risques liés aux rayonnements ionisants

L'objectif de cet article est de fournir une sélection des supports d'information jugés les plus pertinents ainsi qu'une méthodologie de recherche sur les risques liés aux rayonnements ionisants ⁴⁷

⁴⁷ www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2028

- ▶ Fiches de radioprotection : fiches médicales
- ▶ Fiches de radioprotection : radionucléides
- ▶ Fiches de radioprotection : gammagraphie
- ▶ Fiches de radioprotection : secteur médical
- ▶ Évolutions en matière de radioprotection et conséquences sur l'accès aux données dosimétriques



Les rayonnements ionisants

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :

- lors de l'utilisation de sources radiactives scellées ou non scellées,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité ... ⁴⁴

⁴⁴ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205027



Les rayonnements ionisants

Ce document présente le paysage institutionnel et la réglementation applicable en matière de prévention des risques encourus par les personnes qui, peuvent être exposées à des rayonnements ionisants ⁴⁶

⁴⁶ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932



Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (PCR)

Cet article présente la position commune de l'INRS et de l'IRSN sur le rôle-clé, le statut et les missions de la PCR en matière de prévention ainsi que des propositions d'évolution de ceux-ci. ⁴⁸

⁴⁸ www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2013

Liens utiles

Sites d'organismes français

- ▶ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
- ▶ Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
- ▶ Légifrance
- ▶ Société française de radioprotection (SFRP)
- ▶ Retours d'expériences sur les incidents radiologiques (RELIR)

Sites d'organismes internationaux

- ▶ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)

- ▶ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- ▶ International Atomic Energy agency (IAEA)

Autres références bibliographiques

- Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France. Bilan 2012 ». Rapport PRP-HOM / 2013-008. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2012, 104 p.
Rapport téléchargeable sur le site de l'IRSN : www.siseri.irsn.fr⁴⁹
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P. « Guide pratique. Radionucléides et radioprotection. Manuel pour la manipulation de substances radioactives dans les laboratoires de faible et moyenne activité ». 4e édition mise à jour. EDP Sciences, 2004, 262 p. Edité en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société française de radioprotection (SFRP) et la revue Radioprotection.
- THEVENIN J.C. « Instrumentation pour la dosimétrie individuelle des travailleurs ». Génie nucléaire BN 3490. Doc BN 3490. Techniques de l'ingénieur, 2003, 16 p., 4 p.
- TUBIANA M., LALLEMAND J. « Radiobiologie et radioprotection ». Que sais-je ? n° 2439. Presses universitaires de France (PUF), 2002, 128 p.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., BOISSIERE G. « Manuel pratique de radioprotection ». 3e édition. Technique et documentation Lavoisier, 2007, 666 p.
- GAURON MC., BOULAY MH. « Radioprotection ». Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-700-A-10. Editions techniques, 2(2005) 185-197.
- « Symboles graphiques et pictogrammes. Couleurs et signaux de sécurité ». Norme française homologuée. NF X08-003. Association française de normalisation (AFNOR), 1994 (erratum de mars 1995), 47 p.
- « Signalisation des rayonnements ionisants. Schéma de base ». Norme française homologuée. NF M 60-101. Association française de normalisation (AFNOR), 1972, 2 p.

⁴⁹ siseri.irsn.fr/

Mis à jour le 16/06/2015

Réglementation

Textes européens

Plusieurs directives existent au niveau de l'Union européenne en matière de radioprotection :

- **directive 90/641/EURATOM**⁵⁰ du 4 décembre 1990, concernant la protection opérationnelle des travailleurs extérieurs exposés à un risque de rayonnements ionisants au cours de leur intervention en zone contrôlée ;
- **directive 96/29/EURATOM**⁵¹ du 13 mai 1996, fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants ;
- **directive 97/43/EURATOM**⁵² du 30 juin 1997, relative à la protection sanitaire des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants lors d'expositions à des fins médicales (remplaçant la directive 84/466/EURATOM).
- **directive 2003/122/EURATOM**⁵³ du 22 décembre 2003 relative au contrôle des sources radioactives scellées de haute activité et des sources orphelines.

La Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM) a été instituée par un traité communautaire signé en 1957. Ce traité constitue le fondement sur lequel sont adoptées ces directives « Euratom ».

Ces directives sont les textes de base qui sont à l'origine de la réglementation française.

Une nouvelle **directive 2013/59**⁵⁴ a été adoptée le 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et doit être transposée avant janvier 2018 en droit français (elle abroge les directives précédentes).

⁵⁴ eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013L0059

Réglementation française

Les textes fondamentaux portant sur la radioprotection, que les décideurs doivent prendre en compte sont :

- le Code de la santé publique,
- le Code du travail.

Ces textes résultent de la transposition des directives EURATOM 90/641, 96/29 et 97/43 et 2003/122.

Il existe 4 volets dans la réglementation française pour la protection des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants :

- protection des travailleurs (y compris les travailleurs non salariés) ;
- protection du public et de l'environnement ;
- protection des patients ;
- protection des personnels des unités d'intervention d'urgence.

Voir la brochure **Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable (ED 932)**⁵⁵.

⁵⁵ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932

Réglementation concernant le monde du travail : notions générales

La réglementation concernant le monde du travail est destinée à prévenir des risques liés à l'utilisation de rayonnements ionisants en milieu professionnel (articles **L. 4451-1**⁵⁶ et **L. 4451-2**⁵⁷, R.4451-1 à R. 4451-144 du Code du travail). Elle porte notamment sur les différents points qui suivent.

⁵⁶ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000018491129&dateTexte=&categorieLien=cid

⁵⁷ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000018491131&dateTexte=&categorieLien=cid

- **Responsabilité de l'employeur** : elle concerne les mesures générales administratives et techniques permettant d'assurer la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.
- **Respect des principes de radioprotection** : justification, optimisation et limitations des doses pour tous les travailleurs, et en particulier pour certaines catégories (notamment pour les jeunes travailleurs de moins de 18 ans, les femmes enceintes, avec interdiction d'exposition interne pour les femmes allaitant).
- **Evaluation des risques** par l'analyse des postes de travail et, pour toute opération envisagée en « zone contrôlée », évaluation prévisionnelle des doses susceptibles d'être reçues par les travailleurs.
- **Désignation d'une « personne compétente »** en radioprotection (PCR) : elle assiste l'employeur dans l'organisation de la prévention et notamment en ce qui concerne l'analyse des risques et la délimitation des zones. Cette désignation est obligatoire dès lors que la présence, la manipulation, l'utilisation ou le stockage d'une source ou d'un générateur de rayonnement ionisant entraîne un risque d'exposition pour les salariés de l'établissement, des entreprises extérieures ou des travailleurs non salariés intervenant dans l'établissement. Cette personne est désignée par l'employeur après une formation spécifique ; elle doit être interne à l'entreprise lorsque celle-ci utilise des sources ou appareils soumis à autorisation.
- **Définition de zones de travail** : tout employeur détenteur d'une source de rayonnement doit délimiter des zones de travail, après évaluation des risques et avis de la personne compétente. La définition des zones doit être fondée sur une estimation théorique de la dose que recevrait un travailleur présent en permanence sur ce lieu de travail. Ces zones doivent être convenablement signalées.
- **Classement du personnel** : l'employeur, après avis du médecin du travail, doit classer le personnel selon son exposition professionnelle aux rayonnements ionisants. Ce classement est une aide à la détermination des conditions de surveillance radiologique et médicale.
- **Suivi des personnes potentiellement exposées** :
 - Surveillance médicale prévoyant une attestation d'absence de contre-indication médicale aux travaux exposant aux rayonnements ionisants avant toute affectation.
 - Suivi dosimétrique individuel obligatoire et tenue à jour d'une fiche d'exposition.
- **Contrôles techniques de radioprotection**, comprenant un contrôle régulier des sources et appareils émetteurs de rayonnements ionisants, ainsi qu'un contrôle des dispositifs de protection et d'alarme, et des dispositifs de mesure. Ce contrôle régulier permet de vérifier le bon état technique du matériel et l'efficacité des mesures de protection.
- **Contrôles techniques d'ambiance** : ils ont pour objectif la caractérisation de l'ambiance radiative des locaux de travail (débits de dose externe, concentration de l'activité dans l'air et contamination des surfaces).
- **Formation et information des travailleurs**. Tous les travailleurs intervenant en zone contrôlée ou surveillée doivent notamment recevoir une formation à la radioprotection. En outre, la manipulation de certains appareils est réservée à des personnes titulaires d'un certificat d'aptitude.
- **Traçabilité complète des matières radioactives** : la réglementation prévoit un régime d'autorisation ou de déclaration, ainsi qu'une obligation de reprise des sources par le fournisseur. Le régime d'autorisation ou de déclaration dépend de la finalité de l'application (médicale ou autre que médicale), et de l'activité concernée par cette demande (fabrication, distribution, utilisation)..
- **Maîtrise des rejets dans l'environnement**.

Pour en savoir plus, voir la brochure **Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable**⁵⁸ (ED 932).

⁵⁸ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932

Tous ces textes sont consultables en ligne sur le site de **Legifrance**⁵⁹.

⁵⁹ www.legifrance.gouv.fr/

Travailleur exposé : valeurs limites d'exposition et classement

La notion de « travailleur exposé », à la base du dispositif réglementaire concernant les travailleurs, est définie par le Code du travail (article **R. 4421-1**⁶⁰ dans le respect des principes énoncés par l'article **L. 1333-1**⁶¹ du Code de la santé publique) : « tout travailleur, salarié ou non, soumis dans le cadre de son activité professionnelle à une exposition aux rayonnements ionisants susceptible d'entraîner des doses supérieures à l'un quelconque des niveaux de doses égaux aux limites de dose fixées pour les personnes du public ».

L'exposition « environnementale » de la population générale, du fait des activités humaines impliquant la radioactivité, ne doit pas dépasser la dose efficace de 1 millisievert par an (mSv/an), ou des doses équivalentes de 15 mSv/an au cristallin et de 50 mSv/an en valeur moyenne pour tout cm² de peau exposé (doses fixées pour les personnes du public aux termes de l'article **R. 1333-8**⁶² du Code de la santé publique.

⁶⁰ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000018530512&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150504&oldAction=rechCodeArticle&fastReqId=1904225674&nbResultRech=1

⁶¹ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006686648&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150504&oldAction=rechCodeArticle&fastReqId=860063164&nbResultRech=1

⁶² www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006909971&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150504&oldAction=rechCodeArticle&fastReqId=362814500&nbResultRech=1

Limites d'exposition

En application du principe de limitation des doses, des valeurs limites réglementaires sont établies pour les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (articles **R. 4451-12**⁶³ et **R. 4151-13**⁶⁴ du Code du travail). Dans toutes les circonstances (hormis les situations d'urgence et les expositions durables), ces valeurs « absolues » sont des limites à ne pas dépasser : leur respect impératif est apprécié au vu des doses effectivement reçues par chaque travailleur.

⁶³ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000018491155&dateTexte=&categorieLien=cid

⁶⁴ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000018491157&dateTexte=&categorieLien=cid

⁵⁰ eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31990L0641

⁵¹ eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31996L0029

⁵² eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31997L0043

⁵³ eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0122

LIMITES FRANÇAISES EN MILLISIEVERT/AN (MSV SUR 12 MOIS CONSÉCUTIFS)				
	Corps entier (dose efficace)	Mains, avant bras, pieds, cheville (dose équivalente)	Peau (dose équivalente sur tout cm ²)	Cristallin* (dose équivalente)
Travailleurs	20 mSv	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	150 mSv	150 mSv	45 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			

Ces limites réglementaires de dose ne s'appliquent pas aux expositions résultant des examens médicaux auxquels sont soumis les travailleurs concernés (**article R.1333-9**⁶⁵ du code de la santé publique).

La nouvelle **directive 2013/59**⁶⁶ est en voie de transposition et prévoit un abaissement de cette limite à 20 mSv par an.

⁶⁵ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006071307&idArticle=LEGIARTI000021049172

⁶⁶ eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013L0059

Lorsqu'un travailleur a subi une exposition qui dépasse les limites réglementaires, l'employeur, appuyé par la personne compétente et le médecin du travail, doit immédiatement faire cesser l'exposition et appliquer l'ensemble des règles de gestion prévues par le Code du travail.

Classement

Les travailleurs exposés sont classés en deux catégories (article **R. 4451-44**⁶⁷ du Code du Travail).

⁶⁷ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000022435963&dateTexte=&categorieLien=cid

Catégorie A

L'article **R. 4451-44**⁶⁸ du Code du travail précise que **les travailleurs susceptibles de recevoir, dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an (sur les 12 derniers mois glissants) ou une dose équivalente** (dose différente en fonction de la partie du corps exposée), sont classés par l'employeur en catégorie A.

Ces travailleurs de catégorie A bénéficient d'un suivi dosimétrique adapté au mode d'exposition.

⁶⁸ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000022435963&dateTexte=&categorieLien=cid

Catégorie B

L'article **R. 4451-46**⁶⁹ du Code du travail, précise quant à lui, qu'à défaut d'un classement en catégorie A, **les travailleurs sont classés en « catégorie B », dès lors qu'ils sont soumis dans le cadre de leur activité professionnelle à une exposition aux rayonnements ionisants susceptible d'entraîner des doses supérieures** (art. **R. 1333-8**⁷⁰, CSP à :

⁶⁹ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442700&cidTexte=LEGITEXT000006072050

⁷⁰ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072665&idArticle=LEGIARTI000006909970&dateTexte=&categorieLien=cid

- 1 mSv par an (*dose efficace, corps entier*),
- 15 mSv par an (*dose équivalente*),
- 50 mSv par an en valeur moyenne pour toute surface de 1 cm² de peau, quelle que soit la surface exposée.

Les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, **y compris en situation d'incident**, évalués entre 1 mSv et 6 mSv sont classés en catégorie B. Ces travailleurs de catégorie B bénéficient là aussi d'un suivi dosimétrie adapté au mode d'exposition.

Les femmes enceintes et les étudiants et apprentis de moins de 18 ans sont exclus des travaux impliquant la catégorie A.

C'est l'exposition prévisionnelle qui est prise en compte pour établir ce classement. Les valeurs d'exposition de base figurant dans le tableau ci-dessous ne doivent pas être confondues avec les valeurs limites absolues du paragraphe précédent.

Le classement d'un travailleur peut être reconsidéré au vu des résultats de son suivi dosimétrique, en conditions normales de travail.

VALEURS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE ATTEINTES EN SITUATION NORMALE DE TRAVAIL, EN FONCTION DU CLASSEMENT DES TRAVAILLEURS (SUR 12 MOIS CONSÉCUTIFS, EN MILLISIEVERT)				
	Corps entier (<i>dose efficace</i>)	Mains, avant bras, pieds, cheville (<i>dose équivalente</i>)	Peau (<i>dose équivalente sur tout cm²</i>)	Cristallin (<i>dose équivalente</i>)
Travailleurs exposés de catégorie A	supérieure à 6 mSv	supérieure à 150 mSv	supérieure à 150 mSv	supérieure à 45 mSv
Travailleurs exposés de catégorie B	6 mSv au plus (et dépassant 1 mSv, pour être considéré comme « travailleur exposé »)	150 mSv au plus	150 mSv au plus (et dépassant 50 mSv/an pour être considéré comme « travailleur exposé »)	45 mSv au plus (et dépassant 15 mSv/an pour être considéré comme « travailleur exposé »)
Les femmes enceintes, les femmes allaitant et les jeunes de 16 à 18 ans ne peuvent être affectés à des travaux qui requièrent un classement en catégorie A.				

CDD et travail temporaire

Une entreprise ne peut employer des travailleurs sous contrat à durée déterminée ou des salariés sous contrat de travail temporaire (intérimaires) « pour des travaux susceptibles d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants dès lors que ces travaux sont effectués dans des zones où le débit horaire est susceptible d'être supérieur à 2 mSv » (article **D. 4154-1**⁷¹ Code du travail).

⁷¹ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000018532600&cidTexte=LEGITEXT000006072050

De plus, un *prorata temporis* est applicable à ces travailleurs, ce qui implique que le contrat de travail doit avoir une durée telle que l'exposition du salarié soit au plus égale à la limite d'exposition annuelle pertinente (corps entier, cristallin, extrémités, jeunes travailleurs, femmes enceintes...) rapportée à la durée totale de travail :

- « En cas de dépassement de la valeur limite d'exposition annuelle rapportée à la durée du contrat considéré, l'employeur est tenu de proroger le contrat à durée déterminée de telle sorte qu'à l'expiration de celui-ci l'exposition soit au plus égale à cette valeur limite annuelle rapportée à la durée du contrat prorogé » (Article **L1243-12**⁷² du Code du travail).

Normes

Les appareils et les équipements utilisés doivent satisfaire à des normes, élaborées notamment par l'Association française de normalisation (AFNOR).

La liste complète des normes existantes peut être obtenue sur le site de l'**AFNOR**⁷³

⁷³ www.afnor.org/

Femme enceinte et exposition professionnelle aux rayonnements ionisants

Tous les travailleurs exposés doivent être informés des effets des rayonnements ionisants sur la santé, et notamment des effets néfastes sur l'embryon (articles D. 4152-4 et 4152-5 du Code du travail).

Cette information a vocation à sensibiliser les femmes quant à la nécessité de déclarer le plus précocement possible leur état de grossesse et porte à leur connaissance les mesures d'affectation temporaire prévues à l'article L. 1225-7⁷⁴ du Code du travail..

⁷⁴ www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006900886&cidTexte=LEGITEXT000006072050

Conformément à l'article D. 4152-5 du Code du travail concernant l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, l'exposition de l'enfant à naître doit être la plus faible possible. Dans tous les cas, elle ne doit pas atteindre 1 milliSievert (mSv) pour la période située entre la déclaration de grossesse et l'accouchement.

De plus, les femmes enceintes ne peuvent pas être affectées à des postes impliquant un classement en catégorie A (travailleurs dont l'exposition peut dépasser, dans les conditions de travail normal, les 3/10e de la limite admissible annuelle).

A noter aussi que les femmes allaitant ne peuvent pas être maintenues à un poste où il y a un risque d'exposition interne.

Pour en savoir plus

⁷² www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006901223&cidTexte=LEGITEXT000006072050

Ressources INRS

BROCHURE 05/2013 | ED 4440



Retrait des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI)

Les entreprises détenant des DFCI ne doivent pas les manipuler, les déposer, ni les jeter. Elles doivent faire appel à une société spécialisée, déclarée auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire ⁷⁵

⁷⁵ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204440

BROCHURE 12/2013 | ED 4441



Détecteur portatif de plomb par fluorescence X

Cette fiche "réflexe" synthétise les informations relatives aux risques, aux principales obligations réglementaires, aux bonnes pratiques ainsi qu'aux réflexes à mettre en pratique en cas d'incident ⁷⁶

⁷⁶ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204441

BROCHURE 06/2014 | ED 4442



Équipements de contrôle qualité par rayons X dans l'industrie

Cette fiche pratique radioprotection traite des risques liés à l'utilisation d'équipements de contrôle qualité par rayons X, du cadre réglementaire applicable et des bonnes pratiques de prévention. ⁷⁷

⁷⁷ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204442

BROCHURE 06/2011 | ED 5027



Les rayonnements ionisants

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :

- lors de l'utilisation de sources radioactives scellées ou non scellées,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité ... ⁷⁸

⁷⁸ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205027

BROCHURE 02/2006 | ED 958



Les rayonnements ionisants

Ce document est le complément technique de la brochure ED 932 "Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable". Il présente une méthodologie applicable à toute situation de travail susceptible d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants.

Les rayonnements ... ⁷⁹

⁷⁹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20958

BROCHURE 06/2014 | ED 932



Les rayonnements ionisants

Ce document présente le paysage institutionnel et la réglementation applicable en matière de prévention des risques encourus par les personnes qui, peuvent être exposées à des rayonnements ionisants ⁸⁰

⁸⁰ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932



Recherche documentaire sur les risques liés aux rayonnements ionisants

L'objectif de cet article est de fournir une sélection des supports d'information jugés les plus pertinents ainsi qu'une méthodologie de recherche sur les risques liés aux rayonnements ionisants ⁸¹

⁸¹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2028

- ▶ Fiches de radioprotection : fiches médicales
- ▶ Fiches de radioprotection : radionucléides
- ▶ Fiches de radioprotection : gammagraphie
- ▶ Fiches de radioprotection : secteur médical
- ▶ Évolutions en matière de radioprotection et conséquences sur l'accès aux données dosimétriques



Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (PCR)

Cet article présente la position commune de l'INRS et de l'IRSN sur le rôle-clé, le statut et les missions de la PCR en matière de prévention ainsi que des propositions d'évolution de ceux-ci. ⁸²

⁸² www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2013

Liens utiles

Sites d'organismes français

- ▶ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
- ▶ Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
- ▶ Légifrance
- ▶ Société française de radioprotection (SFRP)
- ▶ Retours d'expériences sur les incidents radiologiques (RELIR)

Sites d'organismes internationaux

- ▶ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- ▶ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- ▶ International Atomic Energy Agency (IAEA)

Autres références bibliographiques

- Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France. Bilan 2012 ». Rapport PRP-HOM / 2013-008. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2012, 104 p.
Rapport téléchargeable sur le site de l'IRSN : www.siseri.irsn.fr ⁸³
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P. « Guide pratique. Radionucléides et radioprotection. Manuel pour la manipulation de substances radioactives dans les laboratoires de faible et moyenne activité ». 4e édition mise à jour. EDP Sciences, 2004, 262 p. Edité en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société française de radioprotection (SFRP) et la revue Radioprotection.
- THEVENIN J.C. « Instrumentation pour la dosimétrie individuelle des travailleurs ». Génie nucléaire BN 3490. Doc BN 3490. Techniques de l'ingénieur, 2003, 16 p., 4 p.
- TUBIANA M., LALLEMAND J. « Radiobiologie et radioprotection ». Que sais-je ? n° 2439. Presses universitaires de France (PUF), 2002, 128 p.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., BOISSIERE G. « Manuel pratique de radioprotection ». 3e édition. Technique et documentation Lavoisier, 2007, 666 p.
- GAURON MC., BOULAY MH. « Radioprotection ». Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-700-A-10. Editions techniques, 2(2005) 185-197.
- « Symboles graphiques et pictogrammes. Couleurs et signaux de sécurité ». Norme française homologuée. NF X08-003. Association française de normalisation (AFNOR), 1994 (erratum de mars 1995), 47 p.
- « Signalisation des rayonnements ionisants. Schéma de base ». Norme française homologuée. NFM 60-101. Association française de normalisation (AFNOR), 1972, 2 p.

⁸³ siseri.irsn.fr/

Mis à jour le 16/06/2015

Conduite à tenir en cas d'incident ou d'accident

Conduite à tenir en cas d'incident ou d'accident

Ne sont pas abordées dans cette partie de notre dossier les situations d'urgence radiologique qui mettent en péril la population générale (dispersion de substances radioactives dans l'environnement). Pour ces situations, il est nécessaire de se reporter au Code de la Santé publique.

Ce paragraphe traite uniquement des premiers réflexes à avoir au poste de travail quand une situation incidentelle ou accidentelle survient.

En préalable

Il est important de rappeler en préalable que :

- Tout salarié doit être informé des risques encourus au poste de travail, et en particulier des instructions à suivre en cas de situation anormale (notice de poste remise individuellement par le chef d'établissement).
- La formation des travailleurs doit être renouvelée tous les 3 ans : elle porte notamment sur les conduites à tenir en cas de situation anormale.
- Une notice, rappelant les risques particuliers liés au poste occupé ou à l'intervention à effectuer, les règles de sécurité applicables et les instructions à suivre en cas de situation anormale, doit être remise à toute personne amenée à intervenir en zone contrôlée.
- A l'intérieur des zones surveillées comme des zones contrôlées, un affichage rappelle notamment les risques d'exposition externe et éventuellement interne, les consignes de travail adaptées à la nature de l'exposition et aux opérations envisagées.

Un travail en amont d'identification des risques peut se baser sur l'utilisation de la **base RELIR**⁸⁴ « retour d'expérience sur les incidents radiologiques », qui propose des exemples pratiques d'incidents avec les leçons à en tirer.

⁸⁴ relir.cepn.asso.fr/

Vous êtes confronté à une dispersion ou dissémination de substances radioactives (sources non scellées)

Parfois la contamination d'un local sera mise en évidence après un incident matériel sans contamination humaine (dont on aura vérifié l'absence). La décontamination des locaux faite rapidement et correctement permettra d'éviter le risque de contamination des personnes. Un simple balisage et confinement du local pendant quelques heures ou quelques jours pourra parfois être suffisant (compte tenu du niveau initial de la contamination et de la période du radioélément).

Signes d'alerte

Vous pouvez être alerté d'une telle situation par les événements suivants :

- un contrôle de contamination a été effectué et met en évidence une dispersion après manipulation ;
- une erreur de manipulation est survenue (ce qui implique la recherche de contamination) ;
- l'alarme d'un dosimètre opérationnel, d'une balise ou d'un contrôleur d'ambiance s'est déclenchée.

Témoin : conduite à tenir

Le témoin d'une dispersion ou d'une dissémination de substance radioactive (personne non exposée à la contamination) doit :

- Alerter la hiérarchie, la personne compétente et le médecin du travail
- En cas d'intervention sur les lieux de la contamination, prendre les mesures destinées à empêcher ou limiter sa propre exposition (interne et externe).

Personne exposée à une contamination : conduite à tenir

- Vérifier la réalité de la contamination et de la dispersion dans la zone de travail, et la réalité de sa propre contamination (vêtements et parties du corps susceptibles d'être contaminées) à l'aide d'un détecteur de contamination
- S'il y a confirmation de la contamination :
 - Dans tous les cas, prévenir la personne compétente et le médecin du travail
 - Dans l'attente de l'intervention extérieure, veiller à ne pas disperser la contamination et suivre la procédure établie (instructions à suivre en cas de situation anormale remises à toute personne travaillant en zone contrôlée)
- Se conformer ensuite aux indications données par les intervenants extérieurs.

Mesures à prendre par les personnes intervenantes

La personne compétente et le médecin du travail sont les personnes les plus à même pour intervenir dans ce genre de situation ; ceux-ci peuvent s'appuyer si nécessaire sur l'IRSN (tel : **06 07 31 56 63**).

■ Mesures d'urgence

- Avant d'intervenir, s'équiper des équipements de protection individuelle nécessaires (sur-blouse, gants, sur-bottes...).
- Dans tous les cas d'urgence médico-chirurgicale associée, les gestes de premiers secours priment sur la décontamination.
- Si les locaux de travail sont aménagés pour cela, faire passer la personne contaminée dans un sas ou une salle de décontamination situé(e) à proximité de l'espace de travail (sans risque de contaminer d'autres espaces de travail).
- Délimiter la zone contaminée et installer un périmètre de sécurité.
- Le plus rapidement possible, mettre en oeuvre les procédures de décontamination de la personne exposée :
 - Lui faire enlever les vêtements contaminés
 - Vérifier l'existence éventuelle d'une contamination corporelle, qui doit être traitée immédiatement :
 - Lavage abondant (en recueillant si possible l'eau de lavage)
 - Savonner sans frotter (éviter l'abrasion de la peau)
 - En cas de lavage nécessaire du visage ou des cheveux, protéger les yeux, la bouche, les narines et les oreilles de façon à éviter leur contamination
 - Laver les plaies superficielles et les yeux (ces derniers de préférence avec du sérum physiologique)
 - S'assurer de l'efficacité de la décontamination avec un détecteur de radioactivité
- Dans tous les cas, rechercher la présence de blessures ou de plaies et évaluer le risque de contamination interne éventuelle (circonstances, activité manipulée, reconstitution de l'accident) :
 - La pénétration du radionucléide dans le corps par ingestion, inhalation, ou passage percutané entraîne une exposition interne.
 - Eventuellement, un traitement sera administré : médicaments accélérant l'élimination des substances radioactives et dans certains cas, médicaments spécifiques du type de radioélément (ex : iodure de potassium dans le cas d'une contamination par de l'iode radioactif).

■ Autres mesures concernant plus spécifiquement la décontamination de la zone de travail

- En préalable
 - Avant d'intervenir, revêtir une tenue étanche, et si nécessaire, porter un masque respiratoire
 - Baliser la zone contaminée et la protéger, par une feuille de vinyle par exemple, et enfermer les objets contaminés dans des sacs de vinyle
 - Prendre des mesures limitant la dissémination des produits : utiliser sur les liquides radioactifs un matériau absorbant (vermiculite, sable, terre, papier absorbant...), et pour les poudres, les humidifier afin de mieux les absorber avec un matériau adéquat.
- Décontamination de la zone de travail

La nature des supports contaminés et celle des substances contaminantes guideront le choix de la technique à utiliser : aspiration, lavage, traitement chimique. La décontamination s'effectuera toujours de la limite externe de la zone vers l'intérieur de façon à ne pas disperser ou étendre la contamination.

Dans les cas où la période du radioélément est courte (quelques jours par exemple), le plus simple et le plus efficace est de fermer le local, et d'attendre que la contamination disparaisse d'elle-même.

Tous les effluents et résidus de cette opération seront recueillis avec le plus grand soin, ainsi que les objets et les vêtements contaminés. Ces déchets pourront être éliminés dans certains cas par l'intermédiaire de l'**ANDRA (Agence nationale des déchets radioactifs)**.

Vous êtes confronté à une situation anormale lors de l'utilisation d'un générateur ou d'une source scellée

Cette situation anormale peut être de plusieurs types : mauvaise manipulation de l'équipement, dysfonctionnement du matériel, entrée inopportune dans une zone à risque...

Signes d'alerte

Vous pouvez être alerté d'une telle situation par les événements suivants :

- l'alarme du dosimètre opérationnel, d'une balise ou d'un contrôleur d'ambiance s'est déclenchée ;
- l'indicateur de mise en fonctionnement d'un générateur ou d'une sortie de source (gyrophare, voyant lumineux) est activé.

Témoin : conduite à tenir

Le témoin d'une situation anormale lors de l'utilisation d'un générateur ou d'une source scellée (personne non exposée à l'irradiation) doit :

- Actionner l'arrêt d'urgence de l'installation (générateur électrique), ou faire évacuer la zone à proximité de sources scellées
- Alerter la hiérarchie, la personne compétente et le médecin du travail
- En cas d'intervention sur la zone d'irradiation, prendre les mesures destinées à limiter sa propre irradiation. Rappelons que la personne ayant été exposée accidentellement n'est jamais « irradiante » pour autrui.

Attention, dans certains cas (fortes énergies, sources bloquées), l'irradiation peut se poursuivre après l'arrêt de l'installation. Il importe d'en tenir compte avant toute intervention.

Personne exposée : conduite à tenir

- En cas d'alerte, sortir de la zone ou s'éloigner le plus possible de la source
- Actionner l'arrêt d'urgence qui se trouve à proximité du générateur ou de la source scellée X

Mesures à prendre par les intervenants

La personne compétente et le médecin du travail sont les personnes les plus à même pour intervenir ; ceux ci peuvent s'appuyer si nécessaire sur l'IRSN (tel : 06 07 31 56 63).

Dans tous les cas, l'urgence chirurgicale (traumatisme...) et/ou médicale prime sur le traitement de l'irradiation.

La dosimétrie opérationnelle et le développement du dosimètre passif permettra parfois de connaître l'importance de l'irradiation. Sinon, l'importance de l'irradiation sera évaluée par la dosimétrie biologique (numération de la formule sanguine et des plaquettes (NFS), modification du caryotype) et par la prise en compte des signes cliniques.

La prise en charge dépendra de l'importance de l'irradiation :

- Surveillance
- Hospitalisation à partir d'une irradiation évaluée à 1 Gray environ

Après la situation accidentelle

Tout accident ou incident doit être signalé à la division territorialement compétente de l'ASN (coordonnées disponibles sur www.asn.fr⁸⁵) et déclaré dans le guide n°11 et 16 de déclaration des événements significatifs dans le domaine de la radioprotection (téléchargeable sur www.asn.fr).

⁸⁵ www.asn.fr/

Tout accident ou incident doit être suivi d'une analyse (par la méthodologie de l'arbre des causes par exemple) : il est nécessaire d'en tirer les leçons, et de prendre toutes les mesures permettant d'éviter la répétition de situations similaires.

Toute situation accidentelle et les mesures correctives prises peuvent être riches d'enseignements pour les préventeurs, les chargés de sécurité... N'hésitez pas à faire remonter votre expérience auprès de RELIR⁸⁶ « retour d'expérience sur les incidents radiologiques ».

⁸⁶ relicr.cepn.asso.fr/

Pour en savoir plus

Ressources INRS

BROCHURE 05/2013 | ED 4440



Retrait des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI)

Les entreprises détenant des DFCI ne doivent pas les manipuler, les déposer, ni les jeter. Elles doivent faire appel à une société spécialisée, déclarée auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire⁸⁷

⁸⁷ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204440

BROCHURE 12/2013 | ED 4441



Détecteur portatif de plomb par fluorescence X

Cette fiche "réflexe" synthétise les informations relatives aux risques, aux principales obligations réglementaires, aux bonnes pratiques ainsi qu'aux réflexes à mettre en pratique en cas d'incident⁸⁸

⁸⁸ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204441

BROCHURE 06/2014 | ED 4442



Équipements de contrôle qualité par rayons X dans l'industrie

Cette fiche pratique radioprotection traite des risques liés à l'utilisation d'équipements de contrôle qualité par rayons X, du cadre réglementaire applicable et des bonnes pratiques de prévention.⁸⁹

⁸⁹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204442

BROCHURE 06/2011 | ED 5027



Les rayonnements ionisants

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :

- lors de l'utilisation de sources radioactives scellées ou non scellées,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité ...⁹⁰

⁹⁰ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205027



Les rayonnements ionisants

Ce document est le complément technique de la brochure ED 932 "Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable". Il présente une méthodologie applicable à toute situation de travail susceptible d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants. Les rayonnements ... ⁹¹

⁹¹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20958



Les rayonnements ionisants

Ce document présente le paysage institutionnel et la réglementation applicable en matière de prévention des risques encourus par les personnes qui, peuvent être exposées à des rayonnements ionisants ⁹²

⁹² www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932



Recherche documentaire sur les risques liés aux rayonnements ionisants

L'objectif de cet article est de fournir une sélection des supports d'information jugés les plus pertinents ainsi qu'une méthodologie de recherche sur les risques liés aux rayonnements ionisants ⁹³

⁹³ www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2028

- Fiches de radioprotection : fiches médicales
- Fiches de radioprotection : radionucléides
- Fiches de radioprotection : gammagraphie
- Fiches de radioprotection : secteur médical
- Évolutions en matière de radioprotection et conséquences sur l'accès aux données dosimétriques



Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (PCR)

Cet article présente la position commune de l'INRS et de l'IRSN sur le rôle-clé, le statut et les missions de la PCR en matière de prévention ainsi que des propositions d'évolution de ceux-ci. ⁹⁴

⁹⁴ www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2013

Liens utiles

Sites d'organismes français

- Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
- Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
- Légifrance
- Société française de radioprotection (SFRP)
- Retours d'expériences sur les incidents radiologiques (RELIR)

Sites d'organismes internationaux

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- International Atomic Energy agency (IAEA)

Autres références bibliographiques

- Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France. Bilan 2012 ». Rapport PRP-HOM / 2013-008. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2012, 104 p.
Rapport téléchargeable sur le site de l'IRSN : www.siseri.irsn.fr ⁹⁵
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P. « Guide pratique. Radionucléides et radioprotection. Manuel pour la manipulation de substances radioactives dans les laboratoires de faible et moyenne activité ». 4e édition mise à jour. EDP Sciences, 2004, 262 p. Edité en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société française de radioprotection (SFRP) et la revue Radioprotection.
- THEVENIN J.C. « Instrumentation pour la dosimétrie individuelle des travailleurs ». Génie nucléaire BN 3490. Doc BN 3490. Techniques de l'ingénieur, 2003, 16 p., 4 p.
- TUBIANA M., LALLEMAND J. « Radiobiologie et radioprotection ». Que sais-je ? n° 2439. Presses universitaires de France (PUF), 2002, 128 p.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., BOISSIERE G. « Manuel pratique de radioprotection ». 3e édition. Technique et documentation Lavoisier, 2007, 666 p.

- GAURON MC., BOULAY MH. « Radioprotection ». Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-700-A-10. Editions techniques, 2(2005) 185-197.
- « Symboles graphiques et pictogrammes. Couleurs et signaux de sécurité ». Norme française homologuée. NF X08-003. Association française de normalisation (AFNOR), 1994 (erratum de mars 1995), 47 p.
- « Signalisation des rayonnements ionisants. Schéma de base ». Norme française homologuée. NF M 60-101. Association française de normalisation (AFNOR), 1972, 2 p.

⁹⁵ siseri.irsn.fr/

Mis à jour le 16/06/2015

Ressources INRS

BROCHURE 05/2013 | ED 4440



Retrait des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI)

Les entreprises détenant des DFCI ne doivent pas les manipuler, les déposer, ni les jeter. Elles doivent faire appel à une société spécialisée, déclarée auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire ⁹⁶

⁹⁶ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204440

BROCHURE 06/2014 | ED 4442



Équipements de contrôle qualité par rayons X dans l'industrie

Cette fiche pratique radioprotection traite des risques liés à l'utilisation d'équipements de contrôle qualité par rayons X, du cadre réglementaire applicable et des bonnes pratiques de prévention. ⁹⁸

⁹⁸ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204442

BROCHURE 02/2006 | ED 958



Les rayonnements ionisants

Ce document est le complément technique de la brochure ED 932 "Les rayonnements ionisants. Paysage institutionnel et réglementation applicable". Il présente une méthodologie applicable à toute situation de travail susceptible d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants. Les rayonnements ... ¹⁰⁰

¹⁰⁰ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20958

ARTICLE DE REVUE 09/2013 | TM 28



Recherche documentaire sur les risques liés aux rayonnements ionisants

L'objectif de cet article est de fournir une sélection des supports d'information jugés les plus pertinents ainsi qu'une méthodologie de recherche sur les risques liés aux rayonnements ionisants ¹⁰²

¹⁰² www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2028

► Fiches de radioprotection : fiches médicales

BROCHURE 12/2013 | ED 4441



Détecteur portatif de plomb par fluorescence X

Cette fiche "réflexe" synthétise les informations relatives aux risques, aux principales obligations réglementaires, aux bonnes pratiques ainsi qu'aux réflexes à mettre en pratique en cas d'incident ⁹⁷

⁹⁷ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204441

BROCHURE 06/2011 | ED 5027



Les rayonnements ionisants

L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants survient :

- lors de l'utilisation de sources radioactives scellées ou non scellées,
- lors de l'emploi de matières contenant des éléments radioactifs, utilisées pour d'autres propriétés que leur radioactivité,
- en présence de radioactivité ... ⁹⁹

⁹⁹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205027

BROCHURE 06/2014 | ED 932



Les rayonnements ionisants

Ce document présente le paysage institutionnel et la réglementation applicable en matière de prévention des risques encourus par les personnes qui, peuvent être exposées à des rayonnements ionisants ¹⁰¹

¹⁰¹ www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20932

ARTICLE DE REVUE 06/2014 | NT 13



Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (PCR)

Cet article présente la position commune de l'INRS et de l'IRSN sur le rôle-clé, le statut et les missions de la PCR en matière de prévention ainsi que des propositions d'évolution de ceux-ci. ¹⁰³

¹⁰³ www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2013

- ▶ Fiches de radioprotection : radionucléides
- ▶ Fiches de radioprotection : gammagraphie
- ▶ Fiches de radioprotection : secteur médical
- ▶ Évolutions en matière de radioprotection et conséquences sur l'accès aux données dosimétriques

Liens utiles

Sites d'organismes français

- ▶ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
- ▶ Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
- ▶ Légifrance
- ▶ Société française de radioprotection (SFRP)
- ▶ Retours d'expériences sur les incidents radiologiques (RELIR)

Sites d'organismes internationaux

- ▶ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- ▶ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
- ▶ International Atomic Energy agency (IAEA)

Autres références bibliographiques

- Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France. Bilan 2012 ». Rapport PRP-HOM / 2013-008. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 2012, 104 p.
Rapport téléchargeable sur le site de l'IRSN : www.siseri.irsn.fr¹⁰⁴
- DELACROIX D., GUERRE J.P., LEBLANC P. « Guide pratique. Radionucléides et radioprotection. Manuel pour la manipulation de substances radioactives dans les laboratoires de faible et moyenne activité ». 4e édition mise à jour. EDP Sciences, 2004, 262 p. Edité en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la Société française de radioprotection (SFRP) et la revue Radioprotection.
- THEVENIN J.C. « Instrumentation pour la dosimétrie individuelle des travailleurs ». Génie nucléaire BN 3490. Doc BN 3490. Techniques de l'ingénieur, 2003, 16 p., 4 p.
- TUBIANA M., LALLEMAND J. « Radiobiologie et radioprotection ». Que sais-je ? n° 2439. Presses universitaires de France (PUF), 2002, 128 p.
- GAMBINI D.J., GRANIER R., BOISSIERE G. « Manuel pratique de radioprotection ». 3e édition. Technique et documentation Lavoisier, 2007, 666 p.
- GAURON MC., BOULAY MH. « Radioprotection ». Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-700-A-10. Editions techniques, 2(2005) 185-197.
- « Symboles graphiques et pictogrammes. Couleurs et signaux de sécurité ». Norme française homologuée. NF X08-003. Association française de normalisation (AFNOR), 1994 (erratum de mars 1995), 47 p.
- « Signalisation des rayonnements ionisants. Schéma de base ». Norme française homologuée. NF M 60-101. Association française de normalisation (AFNOR), 1972, 2 p.

¹⁰⁴ [siseri.irsn.fr/](http://www.siseri.irsn.fr/)

Mis à jour le 16/06/2015