Version juillet 2016

Factsheet

Rayonnements ionisants

Lisa Pedrazzi, phys. EPF, Dr Klaus Stadtmüller

1 Rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants sont un terme générique désignant les rayonnements particulaires ou photoniques dont l'énergie est suffisante pour arracher des électrons à la couche électronique des atomes ou aux molécules. Les rayonnements ionisants sont émis par des sources radioactives ou proviennent notamment de la décélération d'un faisceau d'électrons dans un matériau. Le rayonnement de freinage qui en résulte est surtout mis à profit pour la production de rayons X en médecine. Les ions provenant de l'arrachement des électrons exercent des effets physiques, chimiques et biologiques dans leur milieu.

1.1 Bases physiques, unités et mesure

Les grandeurs de dose doivent permettre de quantifier l'effet des rayonnements ionisants sur la matière et en particulier sur le corps humain. Il existe pour cela diverses unités de mesure:

- Dose ionique en coulomb par kg (C/kg): quantité de charge électrique produite dans 1 kg d'air.
- Dose absorbée en gray (Gy): quantité d'énergie du rayonnement absorbée par 1 kg de matière.
- Dose équivalente en sievert (Sv): énergie absorbée par kg de tissu d'un organisme vivant multipliée par un facteur de pondération du rayonnement rendant compte de l'effet biologique des différents types de radiations.
- Dose effective en sievert: somme des doses équivalentes de chaque organe multipliée par un facteur de pondération rendant compte des différences de sensibilité du ou des organes/tissus irradiés.

On peut calculer la dose effective aussi bien pour une irradiation externe qu'interne (en cas d'incorporation). Cette dose du corps entier pondérée est directement proportionnelle au risque de cancer; elle est donc l'unité appropriée sur le plan biologico-médical. C'est la raison pour laquelle c'est aussi l'unité de mesure la plus importante en radioprotection.

Pour mesurer la dose effective cumulée dans un champ de rayonnement externe, on emploie des dosimètres provenant d'un service de dosimétrie individuelle (dite dosimétrie passive) agréé.

La dose effective résultant d'une irradiation interne est déterminée indirectement via la mesure de l'activité. Celle-ci représente le nombre de désintégrations se produisant par unité de temps dans une source radioactive. L'activité se mesure en becquerel (1 Bq = 1 désintégration par seconde). La dose effective engagée E_{50} (dose effective accumulée durant 50 ans suite à l'incorporation d'un radionucléide dans l'organisme) se calcule en se basant sur les radionucléides mesurés et leur activité à l'aide de modèles dosimétriques fondés sur le métabolisme. Les intervalles et les méthodes de mesure sont réglementés par l'ordonnance sur la dosimétrie individuelle (8).

2 Exposition non professionnelle et professionnelle à des rayonnements ionisants

L'homme est en permanence exposé aux rayonnements ionisants d'origine naturelle et artificielle.

Compte tenu de leur activité, on estime qu'en 2014 quelque 96 000 employés en Suisse étaient exposés aux radiations dans l'exercice de leur profession – la plupart dans le secteur de la santé.

2.1 Exposition non professionnelle

L'exposition non professionnelle aux rayonnements résulte de l'irradiation naturelle due à l'environnement (notamment alimentation, sous-sol, cosmos) et à l'exposition aux sources de rayonnement artificielles. Parmi ces dernières, c'est l'utilisation médicale de rayonnements ionisants qui, du point de vue de la population, joue de loin le plus grand rôle par rapport aux autres sources. Les effets des radiations des essais aériens d'armes nucléaires et des accidents de centrales nucléaires (Tchernobyl, Fukushima) sont négligeables en termes d'exposition globale aux rayonnements, car ils sont de l'ordre de quelques centièmes de mSv.

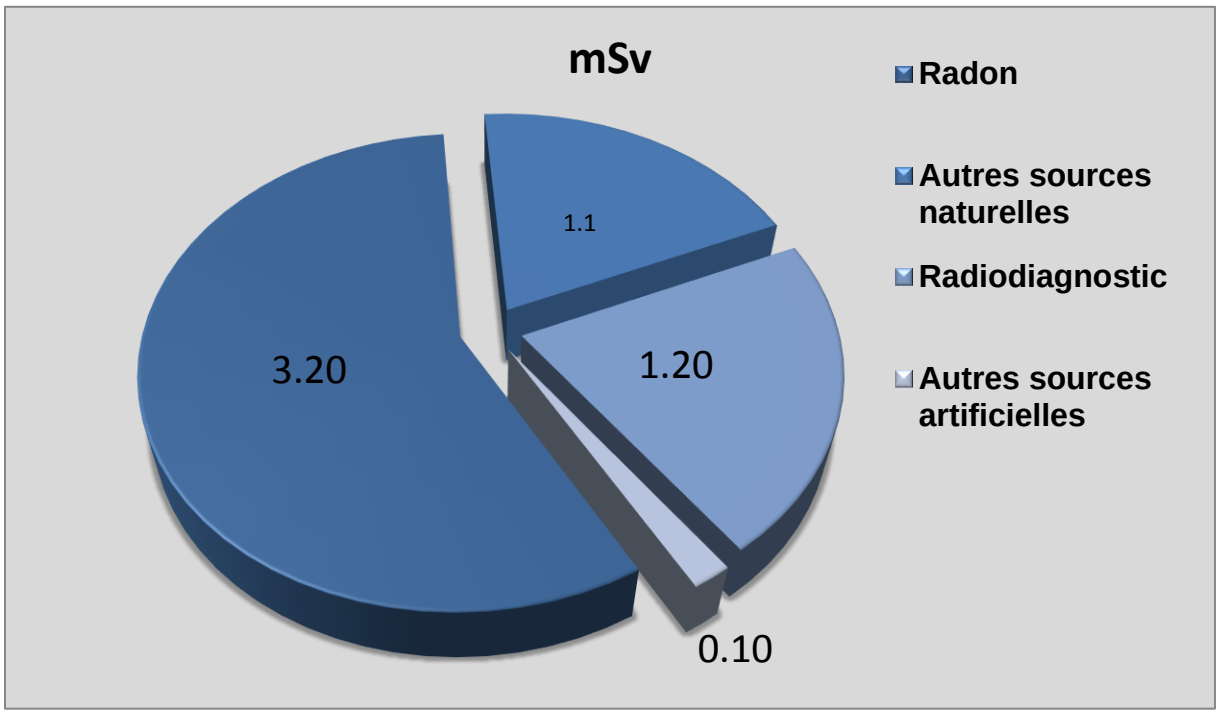


Figure 1: doses moyennes annuelles de rayonnement reçues par la population suisse d'après (1).

2.2 Exposition professionnelle

Sont considérées comme exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession les personnes qui, lors de leur activité professionnelle ou de leur formation, peuvent accumuler, par une exposition contrôlable aux rayonnements, une dose effective excédant 1 mSv par an, ou bien qui séjournent régulièrement dans des zones contrôlées, pour leur travail ou leur formation (3). Les personnes âgées de moins de 16 ans ne doivent pas être exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession; des dispositions particulières s'appliquent dans le cas des personnes jeunes, des femmes enceintes et des femmes qui allaitent.

Une exposition professionnelle peut exister en cas d'utilisation ciblée de rayonnements ionisants dans l'industrie, dans des centrales nucléaires ou dans le secteur de la santé. On peut notamment citer les travaux

- avec des substances radioactives utilisées comme marqueurs dans les examens biochimiques
- avec des appareils d'irradiation pour les essais de matériaux
- dans les centrales nucléaires
- avec des appareils d'irradiation ou des nucléides en médecine

Cependant, elle peut aussi se produire lors d'activités professionnelles dans un environnement avec une irradiation naturelle accrue ou en cas d'expositions prolongées à des sources de rayonnement.
On trouve de tels exemples dans les travaux

- de construction de tunnel et dans l'industrie minière
- impliquant des séjours prolongés dans des cavités souterraines
- dans la gestion des déchets
- dans la navigation aérienne

Selon la définition susmentionnée, ces employés sont aujourd'hui considérés aux termes de la loi comme étant exposés aux rayonnements dans des circonstances non liées à l'exercice de leur profession.

2.3 Possibilités d'exposition

Lorsque la source de rayonnement se trouve en dehors du corps humain, il peut se produire une irradiation externe qui, selon le type de rayonnement, pénètre plus ou moins profondément dans l'organisme en transférant complètement son énergie (principe de la radiothérapie), ou bien traverse entièrement le corps et entre en interaction avec les tissus irradiés (principe de la radiographie).

L'autre possibilité d'exposition est l'irradiation interne résultant d'une incorporation. Dans ce cas, l'organisme exposé absorbe les substances radioactives par inhalation, ingestion, ou par voie transcutanée (peau lésée ou intacte). Selon le radionucléide concerné et le composé chimique, ces substances sont stockées dans l'organisme (le strontium dans les os) ou bien passivement distribuées (le tritium dans les compartiments liquidiens), ou encore intégrées dans le métabolisme (et peuvent alors se distribuer de différentes manières dans l'organisme). L'exemple des isotopes de l'iode, que ceux-ci aient été administrés à des fins thérapeutiques ou absorbés par l'organisme à la suite d'une libération accidentelle, montre qu'ils se concentrent dans la glande thyroïde - laquelle devient alors pour ainsi dire «l'organe cible» desdits isotopes.

Il est également possible que des nucléides ou des molécules radioactives s'échappent d'une source de rayonnement. Ils peuvent alors se déposer sur le corps ou les vêtements

sous forme de particules et provoquer ainsi une contamination avec possibilité d'irradiation externe mais aussi interne.

2.4 Cas particulier du radon

Gaz rare naturel radioactif, le radon provient essentiellement de la chaîne de désintégration de l'uranium naturellement présent dans la couche terrestre. Les descendants du radon sont également radioactifs, ils adhèrent aux particules en suspension dans l'air et peuvent donc être inhalés. Le rayonnement du radon et en particulier de ses descendants peut provoquer des lésions pulmonaires. Le radon est considéré comme la deuxième cause la plus fréquente de cancer broncho-pulmonaire après le tabac.

Le radon est un gaz inodore et incolore et peut se trouver dans les locaux à des concentrations croissantes. C'est la raison pour laquelle les séjours de nature professionnelle dans les lieux où règne une forte concentration de radon exposent à une irradiation, même si les travailleurs ne sont pas considérés par la législation actuelle comme exposés aux rayonnements dans l'exercice de leur profession. La valeur limite applicable aux concentrations de radon dans les secteurs de travail est actuellement de 3000 Becquerels/m^3 en moyenne par durée mensuelle de travail (art. 110 ORaP). Les postes de travail potentiellement exposés à de fortes concentrations de radon se trouvent en particulier:

- dans les réservoirs d'eau potable
- dans les exploitations minières souterraines
- dans les installations militaires

3 Effet biologique des rayonnements ionisants

L'énergie des rayonnements ionisants suffit à dissocier des liaisons chimiques et/ou à ioniser des molécules. Cela se produit ou bien directement, par rayonnement particulaire, ou bien indirectement par l'énergie communiquée par les photons (rayonnement gamma, rayons X) ou les neutrons rapides aux électrons et aux noyaux atomiques des molécules de l'organisme.

3.1 Effets stochastiques et déterministes des rayonnements

Les mécanismes biologiques précités sont à la base des deux types distincts de lésions dus aux rayonnements:

Effets stochastiques des rayonnements:

ils sont considérés comme étant la conséquences de lésions de l'ADN, et se manifestent surtout par des tumeurs malignes (11). Les effets stochastiques sont des effets sans seuil, la probabilité de survenue de la maladie dépendant cependant de la dose accumulée.

Effets déterministes des rayonnements (irradiation aiguë):

Ils apparaissent lorsqu'un nombre significatif de cellules d'un même tissu est détruit. Ils sont la conséquence des lésions survenant au niveau de toutes les structures cellulaires des régions irradiées ou de l'ensemble de l'organisme. Il existe un effet de seuil pour les effets délétères objectifs. Les rayonnements ionisants n'ont guère tendance à provoquer une nécrose cellulaire immédiate, mais plutôt une perte de la capacité mitotique.

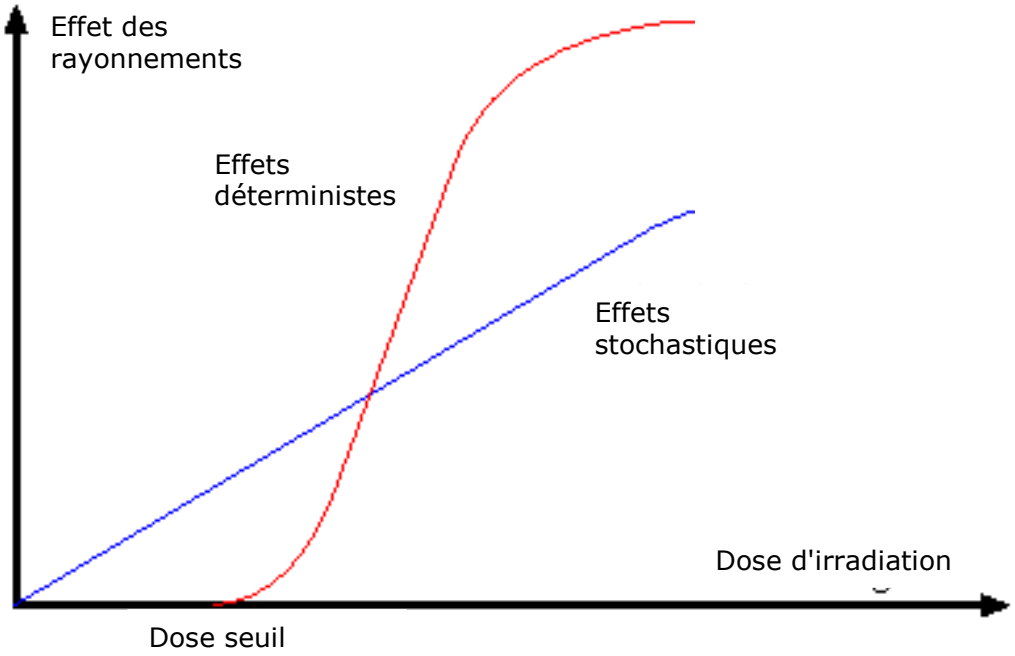


Figure 2: relation entre la dose et l'effet
d'après: http://www.leifiphysik.de/web_ph09_g8/umwelt_technik/08biol_strahl/biolog_str1.htm

3.2 Irradiation accidentelle et traitement (aperçu)

Le début et l'évolution des troubles dépendent essentiellement de la dose absorbée et donc de la proportion de cellules fonctionnelles ainsi que de la capacité résiduelle des cellules lésées à se réparer. Plus la dose absorbée est importante, plus la survenue de différents troubles (syndrome) est rapide. La sensibilité des tissus de l'organisme aux rayonnements est variable: plus la durée de vie des cellules fonctionnelles dans les organes atteints est courte et plus le pool de cellules souches saines est limité, plus la lésion fonctionnelle de l'organe atteint se développe rapidement. C'est la raison pour laquelle la gestion médicale d'une irradiation accidentelle ne prend pas seulement en considération l'importance de la dose, mais essaye aussi de tenir compte, lors de la phase faisant suite à la prise en charge en urgence, du statut individuel d'un blessé à l'aide d'un système complexe de scores spécifiques d'organe. Face à une défaillance multiviscérale consécutive à un accident ayant entraîné un syndrome d'irradiation grave, il faut savoir qu'on dispose également de systèmes experts informatisés (5;6) lorsqu'il

s'agit de prendre une décision sur le traitement invasif à entreprendre (transplantation de cellules souches hématopoïétiques notamment).

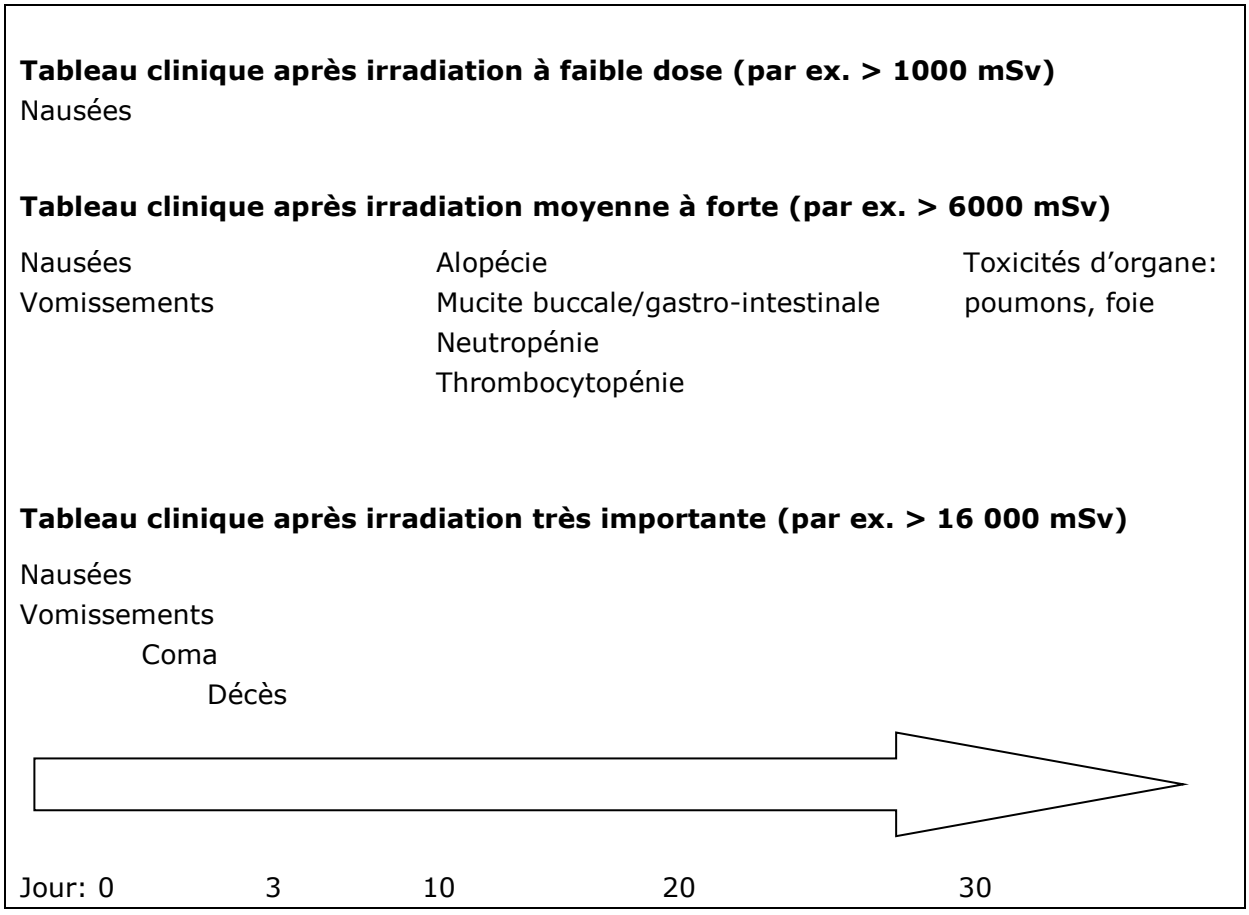


Figure 3: Tableau clinique consécutif à une irradiation:
les symptômes et leur déroulement

4 Protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants en Suisse

L'usage et la manipulation des rayonnements ionisants en Suisse sont strictement réglementés en Suisse comme dans les autres pays (2;3;9;).

4.1 Autorisation et surveillance pour les entreprises

Une entreprise se servant de rayonnements ionisants en Suisse ou faisant intervenir des employés dans une autre entreprise (en mission professionnelle par exemple) à un poste où ils sont exposés aux rayonnements dans l'exercice de leur profession nécessite une autorisation administrative. Celle-ci n'est délivrée notamment que si l'entreprise dispose d'un expert en radioprotection ayant suivi une formation reconnue dans ce domaine. Les autorités compétentes en matière d'autorisation sont:

- L’Office fédéral de la santé publique (OFSP) dans le domaine de la santé, de la recherche et de l’industrie
- L‘inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) pour le domaine des centrales nucléaires

Autre institution impliquée dans la supervision en matière de radioprotection, la Caisse nationale suisse d’assurance en cas d‘accidents (Suva) représente l’autorité de surveillance pour l’industrie et l’artisanat ainsi que pour les instituts de recherche privés. L'OFSP exerce pour sa part un contrôle sur l’utilisation des rayonnements ionisants dans le domaine de la santé et dans la recherche publique. L'IFSN représente l’autorité de surveillance pour la radioprotection dans les centrales nucléaires. Il convient d’en distinguer le contrôle relatif à la mise en œuvre des autres dispositions visant à la prévention des accidents et des maladies professionnelles, les organes de contrôle étant dans ce cas régis par l'ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles.

4.2 Dosimétrie individuelle

La valeur limite de dose pour les personnes exposées, dans l’exercice de leur profession (voir 2.2.), aux rayonnements provenant de sources radioactives contrôlées est fixée à 20 mSv/an pour une exposition du corps entier. Les limites d’exposition pour certains organes sont les suivantes: 150 mSv/an pour le cristallin et 500 mSv/an pour la peau, les mains ou les pieds. Chez les personnes exposées aux rayonnements dans l’exercice de leur profession, l’exposition doit être mesurée à l’aide d‘un dosimètre individuel approprié et les doses reçues être déterminées par un service de dosimétrie individuelle (dite dosimétrie passive) agréé. Le titulaire de l’autorisation est informé des résultats de la dosimétrie.
L'expert en radioprotection au sein de l‘entreprise additionne les doses mensuelles mesurées en fin d'année ou lorsque le travailleur concerné quitte son emploi et reporte la dose accumulée dans le document dosimétrique personnel (suivi dosimétrique). Le travailleur concerné peut obtenir ce document en cas de besoin (mission à l’étranger, etc.).

Pour les travailleurs chez qui il existe un risque d‘incorporation (utilisation de radionucléides comme dans les laboratoires ou en médecine nucléaire), la dosimétrie est complétée par un monitoring biologique de l'urine.

En Suisse, toutes les données ayant trait à la dosimétrie individuelle sont consignées dans un registre dosimétrique central (RDC) et y sont conservées au moins pendant 100 ans.

4.3 Prévention en médecine du travail

4.3.1 Notions générales

La surveillance médicale des employés professionnellement exposés aux radiations est régie par l'art. 13 de la loi sur la radioprotection et est du ressort de la Suva. Les examens de prévention en médecine du travail de la Suva, conformément à l'art. 70 de l'OPA (10), ont pour objectif de prévenir les accidents et les maladies professionnels. Dans le cadre de l'art. 70 de l'OPA, on ne peut prendre en considération que le risque pour le travailleur lui-même. La décision d'aptitude de la Suva ne prend pas en compte les aspects relatifs à la sécurité opérationnelle ou aux risques extérieurs (par exemple infarctus du myocarde d'un opérateur sur réacteur dans une centrale nucléaire en raison d'une pression sanguine trop élevée). C'est à l'exploitant des installations qu'il revient de tenir compte de ces aspects et de les résoudre sur la base d'une analyse de risque et des exigences qui en découlent pour les travailleurs. Dans le domaine des installations nucléaires, deux autres ordonnances régissent encore certains aspects et requièrent une appréciation médicale: il s'agit de l'«ordonnance sur les qualifications du personnel des centrales nucléaires» (OQPN) et de l'«ordonnance sur les équipes de surveillance des installations nucléaires» (OESN).

Toutes les personnes exposées au rayonnement dans le cadre de leur activité professionnelle ont été ponctuellement examinées à partir de 1963 par la Suva. Les résultats ainsi obtenus ont été analysés. Etant donné qu'au cours des années, il s'est avéré que le nombre de maladies professionnelles dû au rayonnement ionisant était très faible et que lesdites maladies n'étaient détectées que rarement par des examens préventifs, la Suva a renoncé à des examens systématiques au niveau suisse en 2016. Actuellement, sur ordre des autorités d'exécution, la division médecine du travail décide elle-même s'il y a lieu de procéder ou non à des examens à la suite d'accidents survenus après une exposition trop importante aux rayonnements ionisants.

5 Défaillances de fonctionnement – Dépassements des limites de dose

Même lors du fonctionnement normal d'une installation utilisant des rayonnements ionisants ou lors d'un séjour dans des secteurs exposés, les travailleurs doivent se protéger des expositions évitables par des équipements de protection et un comportement adaptés. On applique ici les 4 principes de la radioprotection:

- Accroître la distance
- Utiliser des blindages
- Diminuer le temps de séjour
- Eviter l'absorption (de radionucléides)

Cependant, contrairement aux règles établies, des situations impliquant une exposition accrue aux rayonnements peuvent se produire; elles sont qualifiées de «défaillances».

On parle de défaillance en cas d'événement où l'installation s'écarte du fonctionnement normal et, ce faisant, porte atteinte à la sécurité (au sens de l'ORaP, annexe 1). On définit trois catégories de défaillances:

- quand un dépassement de la valeur limite de dose annuelle pour les personnes exposées aux rayonnements dans des circonstances non liées à l'exercice de leur profession (1 mSv) peut être exclu, on parle alors de défaillance technique;
- en cas d'incident radiologique, on a en revanche affaire à un dépassement de la valeur limite de dose applicable aux personnes exposées aux rayonnements dans des circonstances non professionnelles ou au dépassement de la valeur limite d'immission (selon l'art. 102 de l'ORaP);
- on parle d'accident d'irradiation lorsque, au cours d'un incident radiologique, une personne est exposée à une dose effective cumulée supérieure à 50 mSv.

La seule suspicion d'une exposition inadmissible doit amener à la fois les personnes touchées et l'entreprise à prendre des mesures:

Mesures immédiates

Les services d'urgence sont si nécessaire alarmés en quelques minutes (ambulance, police ou pompiers). L'irradiation doit dans la mesure du possible être arrêtée (éteindre l'installation, protéger la source d'irradiation, quitter le secteur dangereux, etc.). En cas d'incendie (pour autant que cela soit possible sans risque), le feu doit être éteint et la source de rayonnement éloignée de la zone dangereuse. Il importe de mettre en sécurité les personnes en danger et soi-même et de prodiguer éventuellement les premiers secours susceptibles de sauver la vie. Le secteur dangereux doit être provisoirement déclaré zone interdite.

Maîtrise de la situation et annonce aux autorités de surveillance

Une annonce immédiate à l'autorité de surveillance pendant les heures normales de travail suffit uniquement dans le cas où les défaillances techniques internes peuvent être maîtrisées par les services propres à l'entreprise et n'entraînent aucun danger en cas de retard d'intervention.

Alerte

En cas de défaillance non maîtrisable par l'entreprise, celle-ci en informe le poste d'alarme de la centrale nationale d'alarme (PA), qui alerte aussitôt la Centrale nationale d'alarme (CENAL). Le service de piquet est activé sans délai. Un spécialiste de la radioprotection est joignable à tout moment par le PA; il a compétence pour apprécier la situation, décider des mesures d'urgence et informer les autres services concernés.

Selon la décision de la CENAL, une équipe d'intervention peut être déployée par le PA. Il peut s'agir par exemple du service de piquet de radioprotection de l'Institut Paul Scherrer (IPS) à Würenlingen.

La défaillance est réparée d'abord sous la direction de l'équipe d'intervention, puis selon les instructions de l'autorité de surveillance. Celle-ci peut ordonner une décontamination, une évacuation des sources radioactives ainsi que d'autres mesures. Les fournisseurs de sources radioactives peuvent également apporter leur concours à ces travaux, car ils

disposent souvent des récipients blindés spéciaux, des instruments ainsi que des connaissances techniques nécessaires.

Dosimétrie

Les doses accumulées par le personnel concerné à l'occasion de la défaillance doivent être évaluées en fonction de la durée d'exposition et du débit de dose. Les dosimètres, lorsqu'ils existent, doivent être remis au service de dosimétrie pour exploitation.

La division médecine du travail de la Suva doit être informée des mesures prises si des travailleurs sont touchés. Elle ordonne éventuellement des examens de suivi et vérifie si les personnes concernées sont encore aptes à être exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession.

La conduite à tenir est la suivante:

- si la dose accumulée évaluée se situe entre 50 et 250 mSv, un contrôle médical doit avoir lieu (si possible dans les 24 heures);
- pour des doses comprises entre 250 et 1000 mSv, un bilan à la recherche de lésions possibles doit avoir lieu dans un hôpital régional dans un délai de 24 heures;
- enfin, si la dose accumulée est supérieure à 1000 mSv, le patient doit être sur-le-champ dirigé vers un hôpital universitaire ou vers un hôpital disposant d'un plateau technique de radiothérapie.

Pour un plus ample informé, on se reportera à la brochure «Les irradiations accidentelles» publiée par la Suva (9).

6 Références

1) Radioprotection et surveillance de la radioactivité en Suisse
Résultats 2011. Office fédéral de la santé publique. Liebefeld
Numéro de publication OFSP VS 04.12 40EXT1208 1'000 df-kombi 287731

2) Loi sur la radioprotection RS 814.50; état le 1.1.2007
http://www.admin.ch/ch/f/rs/8/814.50.fr.pdf

3) Ordonnance sur la radioprotection RS 814.501; état le 1.1.2012
http://www.admin.ch/ch/f/rs/8/814.501.fr.pdf

4) National Research Council, 2006. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. National Academy of Sciences.
http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=030909156X

5) Koenig *et al*.: Medical treatment of radiological casualties: current concepts. Ann Emerg Med. 2005; 45: 643-652.

6) Weinstock *et al*.: Radiologic and nuclear events: contingency planning for hematologists/oncologists. Blood 2008; 111: 5440-5445.

7) Passweg *et al.*: Traitement des conséquences médicales de l'exposition aux rayonnements ionisants et du syndrome d'irradiation aiguë.
Forum Med Suisse 2011; 11:512-514

8) Ordonnance sur la dosimétrie individuelle RS 814.501.43; état le 1.1.2008
http://www.admin.ch/ch/f/rs/c814_501_43.html

9) Les irradiations accidentelles.
Suva série médecine du travail n° 21 (référence: 2869/21.f)

10) Ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles RS 832.30; état le 1er juillet 2010
http://www.admin.ch/ch/f/rs/c832_30.html

11) A review of human carcinogens. Part D: Radiation / IARC Working group on the evaluation of carcinogenic risks to humans (2009: Lyon, France)

Adresses utiles:

Suva
Division médecine du travail
Fluhmattstr. 1
6002 Lucerne
Tél.: +41 41 419 52 78

Suva
Division protection de la santé au poste de travail
Secteur physique
Rösslimattstr. 39
6002 Lucerne
Tél.: +41 41 419 61 33

Office fédéral de la santé publique
Division radioprotection
3003 Berne
Tél.: +41 31 322 96 14

Inspection fédérale de la sécurité nucléaire
Industriestrasse 19
5200 Brugg
Tél.: +41 56 460 84 00