

La Radioprotection

Gilbert BRUHL – Jacques PEULVÉ †

1. INTRODUCTION

La protection des travailleurs et du public contre les effets néfastes des rayonnements ionisants, appelée couramment "Radioprotection", recouvre l'ensemble des aspects techniques et réglementaires mis en œuvre pour assurer leur sécurité.

On peut globalement considérer que la radioactivité agit sur les cellules des tissus des organismes vivants par la délivrance d'énergie (voir article : "[En connaître un rayon](#)") sous deux formes :

- le choc d'une particule alpha, bêta ou d'un neutron avec noyau ou un électron d'une couche d'un atome (un peu comme le choc entre deux boules de pétanque),
- l'excitation électronique par une onde électromagnétique, pouvant arracher ou changer l'énergie d'un électron des couches périphériques des atomes, agissant comme le rayonnement infrarouge d'un feu, mais plus pénétrant à travers l'épiderme, provoquée par un rayon X ou gamma ou par la trajectoire d'un rayon bêta.

Outre la nature du rayonnement, la radioprotection prend en compte la voie d'atteinte de l'organisme :

- irradiation par une source externe ; il peut s'agir d'exposition brève, exceptionnelle ou répétitive, ou bien encore de longue durée ;
- contamination par l'épiderme ;
- contamination transcutanée par introduction de radioéléments dans une plaie ;
- inhalation de produit radioactif par les voies respiratoires ;
- ingestion, en consommant des aliments contenant des composés radioactifs.

Deux autres caractéristiques sont déterminantes pour évaluer les conséquences d'une exposition :

- **nature du radioélément**, et de sa forme chimique : l'iode se fixe sur la glande thyroïde à l'état de vapeur ou d'iodure, alors que le césium et le tritium diffusent dans tout l'organisme et s'éliminent rapidement par les voies naturelles (urine),
- **l'organe exposé** : la moelle osseuse qui produit les globules blancs est beaucoup plus radio sensible que l'os lui-même.

Il faut rappeler que l'univers est radioactif, et quand l'homme est apparu il y a quelques millions d'années, la Terre était encore plus radioactive qu'aujourd'hui. Le corps humain contient environ 100 Bq/kg de produits radioactifs d'origine naturelle (^{40}K , ^{14}C , ^3H , etc.), soit quelque 7 000 Bq pour un humain de taille moyenne.

Mise au point progressivement au cours du 20^{ème} siècle, en application d'une discipline librement consentie par les personnels employés dans de diverses activités allant de l'exploitation minière à la recherche fondamentale en physique théorique, incluant la radiologie par rayons X et le diagnostic médical aussi bien que la production d'énergie électronucléaire, la radioprotection fixe des règles et des techniques permettant d'assurer la sécurité et la sûreté des personnes dans les installations nucléaires et leur environnement.

Précurseurs du **principe de précaution** (voir [fiche GAENA N° 11](#)), en prenant garde de ne pas condamner l'action, les acteurs du nucléaire ont assumé leurs responsabilités, conscients des risques mais aussi des enjeux. La maîtrise de ces risques a conduit ces acteurs, dès le début des années 1920, à s'impliquer dans les organismes nationaux et internationaux :

- Commission internationale de Protection Radiologique (CIPR) créée en 1928 par les Nations Unies
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS)
- Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA)
- Euratom
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
- Société Française de Radioprotection (SFRP)
- Société Française de Radiologie (SFR), etc.

2. LA RÉGLEMENTATION

2.1. LES TEXTES¹

En application de la Directive 96/29 du Traité d'EURATOM, imposant à tous les membres de l'Union Européenne l'application de la Recommandation de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR 60/90), des lois et des décrets fixent l'organisation du contrôle et de l'expertise des Pouvoirs Publics dans le domaine nucléaire en mettant en place les organismes suivants :

- **L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)** est responsable de la définition et de la mise en œuvre de la politique de contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France, pour protéger les travailleurs, le public et l'environnement des risques liés aux activités nucléaires et radiologiques. Elle informe les citoyens, en s'appuyant sur le HCTISN et les Commissions locales d'information (CLI) [loi TSN 2006-686].
- **Le Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN)** est une instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires, et sur l'impact de ces activités sur la santé des personnes, l'environnement et la sécurité nucléaire. Le Haut Comité peut être saisi de toute question relative à l'information concernant la sécurité nucléaire et son contrôle (loi TSN 2006-686). Il a remplacé en 2008 le Conseil supérieur de la sûreté et de l'information nucléaires (CSSIN) qui avait été institué en 1973 avec des missions voisines, mais moins étendues, et des moyens d'action plus modestes.
- **La Commission Consultative des Installations Nucléaires de Base (CCINB)** a remplacé en 2007 la CIINB ; elle est chargée de fournir au Gouvernement des avis techniques et réglementaires.
- **Les Directions Régionales de l'ASN** (anciennement : DRIRE), chargées des opérations de contrôle envers les installations locales.
- **L'Autorité de Sûreté Nucléaire de Défense (ASND)** exerce les mêmes fonctions que l'ASN pour les activités et les installations intéressant la Défense. Pour l'information du public, elle s'appuie sur le HCTISN et les Commissions d'information.
- **Le Haut Fonctionnaire à la Défense et la Sécurité (HFDS)**, en liaison avec le Secrétaire Général de la Défense et de la Sécurité Nationale (SGDSN) assure notamment le contrôle des matières nucléaires.
- **L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)**, établissement public sous la tutelle des Ministères chargés de l'Environnement, de la Santé, de la Recherche, de la Défense, et de l'Industrie, a pour mission les activités d'expertise et de recherche, en matière de radioprotection et de sûreté des installations nucléaires. [décret 2002-254]

Ces organismes ont la charge de veiller à l'application du Code du Travail, mais surtout du Code de la Santé Publique, ainsi que de la législation concernant la radioprotection qui repose pour l'essentiel sur trois décrets, ces textes ayant subi de nombreuses modifications dans le temps :

- le décret n° 66-450 du 20 juin 1966 relatif aux principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants, modifié par le décret n° 88-521 du 18/04/88, modifié par le décret n° 2001-215 du 8 mars 2001 ;
- le décret n° 2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants ;

¹ On trouvera en fin d'article une liste des acronymes utilisés.

- le décret n° 2003-296 du 31 mars 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants.

Ils sont complétés par les principaux décrets et arrêtés suivants :

- l'arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants ;
- l'arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées.
- le décret n° 2007-1570 du 5 novembre 2007 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants et modifiant le code du travail (dispositions réglementaires) ;
- le décret n° 2007-1582 du 7 novembre 2007 relatif à la protection des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants et portant modification du code de la santé publique (dispositions réglementaires) ;
- l'arrêté du 24 novembre 2009 portant homologation de la décision n° 2009-DC-0147 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2009 fixant les conditions d'exercice des fonctions d'une personne compétente en radioprotection externe à l'établissement en application de l'article R. 4456-4 du code du travail.

Tous ces textes se fondent sur les concepts de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) émis en 1977 (CIPR n° 26) puis en 1990 (CIPR n° 60) et sur les directives EURATOM 96/29. Les objectifs de la réglementation en matière de radioprotection reposent sur les trois principes fondamentaux suivants :

- **le principe de justification** : l'utilisation des rayonnements ionisants doit être justifiée au regard du détriment sanitaire qu'elle peut engendrer. Plus simplement, toute exposition doit être justifiée dans le sens qu'elle doit apporter plus d'avantages que d'inconvénients.
- **le principe d'optimisation** : en application de ce principe, les matériels, les procédés, et l'organisation du travail, doivent être conçus de sorte que les expositions individuelles et collectives soient maintenues aussi bas qu'il est raisonnablement possible en dessous des limites réglementaires compte tenu de l'état des techniques et des facteurs économiques et sociaux – c'est le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable).
- **le principe de limitation** : une fois que le « risque » induit par une activité justifiée a été optimisé, il reste à s'assurer que les expositions individuelles ne dépassent pas les limites réglementaires en dessous desquelles le risque est jugé acceptable.

Dans le domaine de la radioprotection, la réglementation distingue trois catégories d'exposition aux rayonnements ionisants : l'exposition du public, l'exposition médicale subie par les patients lors de diagnostics ou de traitement médical, et l'exposition professionnelle des travailleurs (incluant le corps médical).

2.2. LES INSTALLATIONS ET LES RESPONSABILITÉS

L'Autorité de sûreté nucléaire est chargée de la définition et de l'application de la réglementation aux principales installations nucléaires fixes, dénommées " installations nucléaires de base " (INB), à l'exception de celles intéressant la défense nationale, classées secrètes (INBS), qui relèvent de l'autorité de sûreté nucléaire Défense (ASND).

Les attributions de l'ASN sont fixées par la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, dite « loi [TSN](#) », qui rénove en profondeur le cadre législatif applicable aux [activités nucléaires](#) et à leur contrôle. Elle crée une Autorité de sûreté nucléaire, autorité administrative indépendante chargée du contrôle de la [sûreté nucléaire](#) et de la [radioprotection](#), ainsi que de l'information du public dans ces domaines. Elle définit la transparence et précise les modalités d'information du public.

Le décret n° 63-1228 du 11 décembre 1963, et ses arrêtés modificatifs, fixent la liste des installations nucléaires de base (INB) :

- les réacteurs nucléaires, à l'exception de ceux qui font partie d'un moyen de transport ;
- les accélérateurs de particules ;
- les usines de séparation, de fabrication ou de transformation de substances radioactives, notamment les usines de fabrication de combustibles nucléaires, de traitement de combustibles usés, ou de conditionnement de déchets radioactifs ;

- les installations destinées au stockage, au dépôt ou à l'utilisation de substances radioactives, y compris les déchets.

Les trois derniers types d'installations ne relèvent toutefois de la réglementation des INB que lorsque la quantité ou l'activité totale des substances radioactives est supérieure à un seuil fixé, selon le type d'installation et le radioélément considéré, par arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement, de l'industrie et de la santé.

Au dessous de ce seuil, elles sont alors recensées comme des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) Autorisées ou Déclarées, selon le niveau de risque qu'elles présentent, si elles n'atteignent pas une des limites suivantes :

- 5 kilobecquerels (kBq) pour les radionucléides les plus toxiques (groupe 1),
- 100 kilobecquerels par kilogramme (kBq/kg), portée à 500 kBq/kg pour les substances radioactives solides naturelles,
- 1 microsievert par heure ($\mu\text{Sv/h}$) à 0,1 mètre des appareils autorisés.

La législation identifie précisément chaque niveau de responsabilité :

- **L'exploitant nucléaire.** C'est le propriétaire de l'Installation ; à ce titre, il assume les responsabilités légales vis-à-vis des tiers et des Pouvoirs Publics.
- **Le Directeur (ou Chef) d'établissement,** par délégation de l'Exploitant Nucléaire, qui assume les responsabilités de sûreté et de sécurité à l'intérieur de l'Etablissement et dans son environnement, vis à vis du public.
- **Le chef d'Installation** qui, par délégation de l'Exploitant Nucléaire, assume les responsabilités de conduite de l'installation dont il a la charge, conformément au Rapport de Sûreté et aux Règles Générales d'Exploitation (RGE), et assure la protection des travailleurs.
- **La personne compétente en radioprotection (PCR),** nommée par le Chef d'installation au vu de sa qualification, est chargée de la surveillance et des contrôles radiologiques.

Instaurée en 1967, cette fonction a été plusieurs fois redéfinie (en 1986-1987, puis en 2003-2006). Elle est aujourd'hui régie par le Code du travail, qui rappelle que l'employeur est tenu de désigner une PCR (salariée ou prestataire extérieur selon le secteur d'activité) dès qu'il existe « un risque d'exposition aux rayonnements ionisants pour les travailleurs de l'établissement ainsi que pour ceux des entreprises extérieures ou les travailleurs non salariés intervenant dans cet établissement ».

La PCR a pour mission, entre autres, de réaliser les contrôles techniques des sources, de participer à la définition des mesures de protection collective, de définir les mesures à prendre en cas de dépassement des limites d'exposition réglementaires, ou encore de participer à la formation en radioprotection des travailleurs. Elle doit avoir suivi avec succès une formation agréée par l'ASN.

- **Les opérateurs** doivent exécuter leurs tâches conformément aux procédures, et assurer leur propre protection ainsi que celle des autres intervenants.

2.3. QUALIFICATION

Toute personne appelée à travailler sous rayonnements doit être informée des risques que comporte ce travail, des précautions à prendre, et de la nécessité de se conformer aux consignes de sécurité et aux prescriptions médicales. Cette formation est organisée par l'employeur en liaison avec le Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT).

3. LA DOSIMÉTRIE

3.1. INTRODUCTION

Nous ne reviendrons pas ici sur les effets des rayonnements – voir [article GAENA N° 15](#) : "En connaître un rayon". La traduction de ces effets en radioprotection porte sur les notions de :

- limite d'exposition,
- limite dérivée de concentration dans l'air (LDCA). Cette dénomination, bien qu'encore utilisée sur le terrain, n'a plus de signification réglementaire. Elle est remplacée par différentes grandeurs opérationnelles, qui varient selon les opérateurs. On distingue principalement :

- les LPCA (Limites Pratiques de Contamination dans l'Air) identiques aux LDCA, mais qui sont calculées avec un temps d'exposition de 2000 heures.
- les RCA (Repères en Concentrations Atmosphériques) qui sont calculées à partir d'autres grandeurs (DPUI) définies dans l'arrêté du 1^{er} septembre 2003.
- limite annuelle d'incorporation (LAI),
- catégorie de travailleurs en fonction des risques d'exposition et des limites de celles-ci,
- dosimètres individuels,
- suivi dosimétrique des travailleurs.

3.2. LIMITES D'EXPOSITION

Le décret 2001-215 du 8 mars 2001 fixe les limites d'exposition dans des conditions normales de travail. Elles s'appliquent à la somme des expositions internes et externes, sans prendre en compte les expositions naturelles ou d'origine médicale.

Le tableau 1 synthétise les limites réglementaires à ne pas dépasser. Les limites concernant la dose efficace intègrent les doses reçues par exposition externe et interne.

Tableau 1 : Limites d'exposition radiologiques

Partie exposée du corps	Type de dose	Travailleurs (a)	Personnes non exposées	Femmes en état de grossesse (b)	Femme allaitant	Personnes âgées entre 16 et 18 ans (c)
		Sur 12 mois consécutifs	Sur un an			
Organisme entier	Efficace	20 mSv	1 mSv	Poste adapté hors zone réglementaire dès lors que la grossesse a été déclarée	Ne doivent pas être affectées ou maintenues à des postes de travail comportant un risque d'exposition externe	6 mSv
Peau	Equivalente (surface de 1 cm ²)	500 mSv	50 mSv			150 mSv
Cristallin	Equivalente	150 mSv	15 mSv			50 mSv
Mains, pieds, avant-bras, chevilles	Equivalente	500 mSv				150 mSv

(a) Dans le cadre de la classification des travailleurs (voir paragraphe 3.5), les personnes classées en catégorie B ne doivent pas dépasser sur 12 mois consécutifs les valeurs suivantes : 6 mSv pour la dose efficace, 150 mSv pour la peau, les mains, les pieds, les avant-bras et les chevilles, 45 mSv pour le cristallin. Seules les valeurs indiquées dans le tableau sont des limites d'exposition au sens réglementaire. Le dépassement de ces limites d'exposition est par conséquent infractionnel.

Pour exemple, il n'y aura pas d'infraction pour un travailleur de catégorie B ayant reçu une dose efficace de 10 mSv. Il faudra néanmoins se poser la question de sa classification (vérification de l'étude de poste), ainsi que de l'origine de la dose reçue.

(b) Lorsque le maintien au poste de travail en zone réglementée est nécessaire, une dérogation devra être accordée par le service de santé au travail sur la base d'une évaluation de dose au fœtus inférieure à 1 mSv.

(c) Les personnes âgées de 16 à 18 ans autorisées lors de leur formation (apprentis munis de leur contrat d'apprentissage ainsi que les élèves fréquentant les établissements d'enseignement technique), à être occupées à des travaux les exposant aux rayonnements ionisants.

Limites de dose pour les personnes du public :

La limite de dose efficace est de 1 mSv par an. Toutefois, dans des circonstances particulières, une valeur supérieure peut être autorisée pendant une année quelconque et pour autant que la moyenne sur cinq années consécutives ne dépasse pas 1 mSv par an.

Limites de dose aux organes :

- dose équivalente pour le cristallin : 15 mSv par an ;
- dose équivalente pour la peau : 50 mSv par an en valeur moyenne pour toute surface de 1 cm² de peau, quelle que soit la surface exposée.

3.3. LIMITE ANNUELLE D'INCORPORATION (LAI)

La Limite Annuelle d'Incorporation (LAI) par inhalation ou ingestion est, pour un radioélément donné, l'activité incorporée qui entraîne un équivalent de dose engagé égal à l'une des limites annuelles réglementaires. La somme des expositions internes et externes doit donc rester inférieure à 5 mSv/12 mois et 100 mSv/5 ans.

Les valeurs correspondantes sont indiquées à l'annexe IV du décret n° 66-450 du 20 juin 1966, modifié par les décrets 88-521 du 18/04/88 et 94-604 du 19/07/94, qui prennent en compte le cas fréquent du mélange de divers radionucléides.

3.4. LIMITE DÉRIVÉE DE CONCENTRATION DANS L'AIR (LDCA)

La Limite Dérivée de Concentration dans l'Air (LDCA) est la concentration d'un radioélément dans l'air inhalé par un travailleur. Exprimées en becquerels par mètre cube d'air (Bq/m³), ce sont les concentrations qui entraînent une incorporation égale à la LAI pour une exposition durant 2 000 heures par an (ce chiffre est antérieur à la loi sur les 35 heures). Les mêmes décrets que ci-dessus définissent les LDCA.

Les autres unités en usage pour définir les indicateurs de contamination atmosphérique sont :

- Les **LPCA** définies dans le Guide Pratique des Radionucléides et Radioprotection de D. DELACROIX, J.P. GUERRE et P. LEBLANC. Ces valeurs sont calculées pour un temps de présence de 2000 heures par an. Il convient d'effectuer les corrections appropriées si le temps d'exposition est différent.
- Les **RCA** (Repères en Concentration Atmosphérique) qui correspondent, pour un radionucléide donné, à l'activité volumique moyenne (Bq/m³) qui conduit, suite à l'exposition d'une personne pendant une heure, à une dose efficace engagée de 25 µSv. Cette grandeur est calculée à partir d'une autre grandeur définie dans les tableaux de l'arrêté du 1er septembre 1998, à savoir la DPUI (Dose Par Unité d'Incorporation d'un radionucléide).

3.5. CATÉGORIE DE TRAVAILLEURS EN FONCTION DES RISQUES D'EXPOSITION

En fonction de leur risque d'exposition, les travailleurs sont classés en trois catégories :

- **Catégorie A** – Travailleurs exposés aux rayonnements ionisants dont les conditions de travail sont susceptibles d'entraîner une dose efficace supérieure à 3/10^{ème} d'une des limites annuelles d'exposition réglementaires. Les femmes enceintes, les femmes qui allaitent et les apprentis ou étudiants âgés de 16 à 18 ans ne peuvent être affectés à des travaux nécessitant un classement en catégorie A.
- **Catégorie B** – Travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ne relevant pas de la catégorie A.
- **Travailleurs non exposés** – Les travailleurs non exposés aux rayonnements ionisants, dans le cadre de leur activité professionnelle, sont appelés non exposés. En conséquence, ils ne pas susceptibles de recevoir des doses supérieures à l'une des limites fixées pour les personnes du public. Les travailleurs non classés A ou B sont considérés comme des travailleurs non exposés.

3.6. DOSIMÈTRES INDIVIDUELS

Pour la surveillance de l'exposition externe, les dosimètres mis en œuvre doivent être adaptés aux types de rayonnements susceptibles d'être présents aux postes de travail. Le dosimètre doit être porté à la poitrine ou, en cas d'impossibilité, à la ceinture sous les équipements individuels de protection.

Tout travailleur de catégorie A ou B intervenant en zone surveillée ou en zone contrôlée doit porter un dosimètre individuel nominatif passif.

Tout travailleur de catégorie A ou B en zone contrôlée doit porter, en complément, un dosimètre opérationnel (dosimètre électronique) qu'il doit mettre en fonctionnement en badgeant avant d'entrer en zone.

En cas de risque de criticité, les intervenants doivent être munis d'une ceinture de criticité.

Les modalités d'attribution retenues pour les dosimètres passifs et opérationnels sont définies dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2 : Modalités d'attribution des dosimètres

Catégorie de travailleurs	Dosimétrie passive (temps différé)		Dosimétrie opérationnelle (temps réel)	
	Zone surveillée	Zone contrôlée	Zone surveillée	Zone contrôlée
Catégorie A	Port d'un dosimètre poitrine mensuel obligatoire (*)		Sans objet	Port d'un dosimètre opérationnel obligatoire
Catégorie B	Port d'un dosimètre poitrine trimestriel obligatoire (*)			
Non classé A ou B	Sans objet		Port d'un dosimètre opérationnel lorsque les travailleurs entrent en zone pour y effectuer une action ponctuelle programmée par le chef d'installation.	

3.7. SUIVI MÉDICAL ET DOSIMÉTRIQUE DES TRAVAILLEURS

Les agents classés en catégorie A ou B doivent :

- disposer d'une attestation médicale spécifiant qu'ils ne présentent pas d'inaptitudes,
- faire l'objet d'une surveillance individuelle des expositions, les données les concernant doivent être conservées au moins durant 30 ans après la période d'exposition,
- se soumettre aux examens médicaux périodiques (typiquement 2 par an),
- se soumettre à un examen médical exceptionnel suite à une exposition exceptionnelle et obtenir la confirmation de leur aptitude.

4. LE CLASSEMENT DES LOCAUX

4.1. CRITÈRES DE CLASSIFICATION

Afin de prévenir toute exposition inutile, la réglementation (arrêté du 15/02/2006) impose la classification des locaux où peuvent intervenir des travailleurs, en fonction des débits d'équivalent de dose liés à l'irradiation externe.

Les tableaux 3 et 4 ci-après spécifient les critères de classement des zones radiologiques, respectivement au niveau de l'organisme entier et pour les extrémités et le cristallin.

Tableau 3 : Critères de classification des locaux (zonage radiologique) — Corps entier

Zonage radioprotection		Exposition externe (1)		Exposition interne (1)		
Zone	Couleur	L'équivalent de dose est l'estimation de la dose efficace en exposition externe		La contamination atmosphérique volumique est l'estimation qui permet de remonter à la dose efficace en exposition interne (2)		
Non réglementée	Sans objet	Dose efficace < 80 µSv/mois				
Surveillée	Gris bleu	Dose efficace < 7,5 µSv sur 1 heure (4)		< 0,3 RCA (3) (< 7,5 µSv intégrés sur 1 heure)		
Contrôlée	-	Verte	Equivalent de dose < 25 µSv sur 1 heure (4)		< 1 RCA (< 25 µSv intégrés sur 1 heure)	
	Spécialement réglementée	Jaune	Dose efficace < 2 mSv sur 1 heure et débit d'équivalent de dose < 2 mSv/h		< 80 RCA (< 2 mSv intégrés sur 1 heure)	
		Orange	Dose efficace < 100 mSv sur 1 heure et débit d'équivalent de dose < 100 mSv/h		< 4000 RCA (< 100 mSv intégrés sur 1 heure)	
	Interdite (5)	Rouge	Dose efficace ≥ 100 mSv sur 1 heure et débit d'équivalent de dose ≥ 100 mSv/h		≥ 4000 RCA (≥ 100 mSv intégrés sur 1 heure)	

- (1) Les critères de classification sont définis ici en séparant le risque d'exposition externe et le risque d'exposition interne pris séparément. Lorsque les deux risques coexistent, ils doivent être combinés pour établir la classification. Par exemple pour une zone contrôlée jaune où les deux risques coexistent on aura :
- $$[H^* (mSv) / (2 (mSv))] + [Activité volumique moyenne évaluée sur 1 heure (Bq.m^3) / 80 RCA (Bq.m^3)] \leq 1 \text{ où } H^* \text{ est une grandeur opérationnelle intitulée « équivalent de dose ambiant ».}$$
- (2) Pour classer la zone au regard du risque de contamination, il n'est fait référence qu'à la notion de contamination atmosphérique. Le risque d'ingestion n'est pas considéré dans le cadre du zonage de radioprotection.
- (3) Afin de prendre en compte le risque d'exposition interne, la grandeur opérationnelle RCA (Repère en concentration atmosphérique) est utilisée. Elle correspond, pour un radionucléide donné, à l'activité volumique moyenne (Bq/m^3) qui conduit, suite à l'exposition d'une personne pendant une heure à une efficace engagée de 25 µSv. Pour les gaz rares, l'exposition interne résultant du gaz adsorbé dans les tissus de l'organisme ou contenus dans les poumons est négligeable si on la compare à l'exposition externe de la peau ou des autres organes lorsqu'une personne est immergée dans un gaz radioactif.
- (4) Si la source est présente en permanence, ces valeurs peuvent être interprétées comme un débit d'équivalent de dose de 7,5 ou 25 µSv. (5) Sans autorisation spéciale.

Tableau 4 : Valeurs opérationnelles pour le zonage radioprotection vis-à-vis du risque d'exposition externe des extrémités, ou du cristallin.

Zonage radioprotection		Exposition externe aux extrémités	Exposition externe du cristallin (1)	
Zone	Couleur			
Surveillée	Gris bleu	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h < 0,2 mSv	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h < 0,06 mSv	
Contrôlée	-	Verte	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h < 0,65 mSv	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h < 0,2 mSv
	Spécialement réglementée	Jaune	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h < 50 mSv	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h < 15 mSv
		Orange	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h < 2500 mSv	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h < 750 mSv
	Interdite (2)	Rouge	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h ≥ 2500 mSv	Dose équivalente susceptible d'être reçue sur 1 h ≥ 750 mSv

- (1) Valeurs non définies dans l'arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées mais introduite ici par cohérence par rapport à l'exposition des extrémités sur la base de la limite annuelle de 150 mSv pour le cristallin.
- (2) Sans autorisation spéciale.

4.2. CONDITIONS D'ACCES EN ZONE CONTRÔLÉE

Durant les heures normales de travail, peuvent accéder en permanence en zone contrôlée (hors zone rouge) toute personne autorisée par le chef d'installation ou habilitée selon ses fonctions.

Le tableau 5 ci-après définit les modalités d'accès en zone en fonction de la classification des travailleurs et l'appartenance des travailleurs (salariés de l'entreprise ou entreprise sous-traitante).

Tableau 5 : Modalités d'accès en zone réglementée du point de vue de la radioprotection

Catégorie de personnel	Zone				
	Zone surveillée	Zone contrôlée « verte »	Zone contrôlée spécialement réglementée « jaune »	Zone contrôlée spécialement réglementée « orange »	Zone interdite « rouge »
A	<ul style="list-style-type: none"> Fiche de poste et de nuisance Port du dosimètre passif APVR (si nécessaire) Tenue de travail adaptée Aptitude médicale Formation préalable en radioprotection et au poste de travail <u>Entreprises sous-traitantes :</u> Idem, mais port du dosimètre passif délivré par l'employeur	Idem zone surveillée + <ul style="list-style-type: none"> Port du dosimètre opérationnel Tenue universelle de zone <u>Entreprises sous-traitante :</u> Idem ci-dessus + Attestation de formation CEFRI. Pour une opération qui n'a pas fait l'objet d'une analyse de poste de travail : dossier d'intervention en milieu radioactif (DIMR) établie par le chef d'installation préalablement à l'opération et soumis à l'accord de la PCR.	Idem zone contrôlée verte	Idem zone contrôlée verte + Enregistrement nominatif des accès sur un document tenu spécialement à cet effet	Idem zone contrôlée verte + Enregistrement nominatif des accès sur un document tenu spécialement à cet effet + Autorisation exceptionnelle nécessitant l'accord du chef d'établissement après avis de la PCR
B	Idem	Idem pour la zone contrôlée mais temps de séjour limité			
A ou B sous statut précaire (CDD, intérim, stagiaire)	Idem	Idem que ci-dessus pour les catégories A ou B		Selon dispositions spécifiques (1)	Accès interdit
Non classé A ou B	Travail autorisé suivants modalités spécifiques (2)		Accès nécessitant une autorisation du chef d'établissement	Accès interdit	
Visiteurs	Travail autorisé suivants modalités spécifiques (3)				

(1) Les travaux susceptibles d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants, dès lors qu'ils sont effectués dans des zones où le débit de dose horaire est susceptible d'être supérieur à 2 mSv/h, ne peuvent être exécutés par les salariés en contrat de CDD, par les salariés des entreprises de travail temporaire ou par des stagiaires (Arrêté du 12 mai 1998, modifiant l'arrêté du 08 octobre 1990 fixant la liste des travaux conduisant à une exclusion).

(2) Ces travaux visent les salariés qui ne sont pas classés en catégorie A ou B et qui ne sont donc pas soumis dans le cadre de leur activité professionnelle à une exposition aux rayonnements ionisants, mais pouvant toutefois être appelés à entrer occasionnellement en zone réglementée dans l'exercice de leur fonction.

Dès lors que ces travailleurs n'effectuent pas d'opération propre à une activité nucléaire, ils peuvent être autorisés par le chef d'installation ou son représentant, à intervenir en zone réglementée sous certaines conditions définies dans les consignes générales de radioprotection.

(3) On désigne sous l'appellation « visiteur » un salarié de l'entreprise ou une personne externe qui entre occasionnellement sur un site ou dans une installation dans le but de s'informer, et qui ne réalise aucune tâche liée ou non à une activité nucléaire dans les zones concernées par la visite. Ces visiteurs ne peuvent accéder à une zone surveillée ou contrôlée qu'après accord du chef d'installation ou de son représentant qui les fera accompagner par un salarié de l'installation dûment habilité qui veillera à faire respecter les consignes en vigueur et notamment à ce que le niveau d'exposition induit par la visite soit le plus bas possible en deçà de la limite d'exposition fixée pour le public.

Outre les règles rappelées dans les précédents tableaux, les voies d'accès aux différentes zones d'un Établissement doivent être balisées de façon à ce que les travailleurs soient informés des risques qu'ils encourent en pénétrant dans les locaux classés.

La pénétration en zone contrôlée nécessite de la part du personnel qu'il se soumette à un certain nombre de consignes de radioprotection complémentaires définies dans les Règles Générales d'Exploitation (RGE) de l'installation et dans les Consignes de radioprotection du centre ou de l'établissement. Ces règles stipulent notamment l'obligation de :

- disposer d'un badge d'accès justifiant de son habilitation d'agent classé en catégorie A ou B.
- porter la tenue individuelle de protection adéquate en fonction du type de risque,
- porter les dosimètres individuels passifs ou/ou opérationnels correspondants,
- être chargé d'une tâche précise dans la zone concernée, conformément aux Règles Générales d'Exploitation et aux procédures d'intervention,
- intervenir en équipe (au moins à deux), et sous le contrôle d'un responsable.

5. DISPOSITIONS PARTICULIÈRES AUX SOURCES DE RAYONNEMENTS IONISANTS

5.1. GÉNÉRATEURS DE RAYONNEMENTS IONISANTS

Par générateur de rayonnements ionisants, on entend tout appareil comportant une tension d'accélération utilisée sous vide : générateur X, appareils de radiographie ou de radiologie industrielle, accélérateur, source d'ions, canon à électrons, microscope électronique, four à bombardement électronique, thyatron, klystron, magnétron,...

L'acquisition, la détention, l'utilisation, et la cession des appareils, suivent des règles très strictes édictées par le code du travail.

Dans le domaine de la protection radiologique, le classement des locaux les abritant doit prendre en compte les paramètres suivants :

- fonctionnement du générateur asservi à des chaînes de sécurité interdisant l'accès dans la salle du générateur ;
- activation des structures du générateur ou des équipements de la salle de tir après irradiation ;
- niveaux d'exposition ambiante derrière les protections biologiques ;
- intervention en présence du faisceau ou sur structure activée.

Lorsque l'émission de rayonnements ionisants ne peut être exclue, le local ou la zone concernée doit être, a minima, classée en zone surveillée.

Les personnels qui effectuent des opérations ou des réglages en présence du faisceau doivent avoir reçu la formation spécifique et pratique liée à cet usage et être classés en fonction des niveaux d'exposition externe potentiels.

Des contrôles radiologiques doivent être effectués périodiquement, ainsi que la vérification des dispositifs de sécurité, conformément aux dispositions réglementaires en usage. Les personnels manipulant les générateurs de rayonnement ou intervenant sur des structures activées doivent porter un dosimètre d'extrémité en plus du dosimètre de poitrine.

5.2. SOURCES RADIOACTIVES

Les sources à l'origine des expositions des travailleurs sont très diverses, comprenant de façon non exhaustive :

- les substances radiologiques confinées de façon étanche (sources scellées),
- les substances non confinées (sources non scellées),
- les conteneurs de substances radioactives pour leur transport ou leur stockage.

L'utilisation de sources radioactives scellées ou non scellées suit sensiblement les mêmes règles de prévention que celles des générateurs de rayonnements ionisants.

La réglementation prévoit des contrôles techniques internes et externes des sources radioactives scellées et non scellées. La périodicité des contrôles est définie dans le tableau 6 ci-après.

Tableau 6 : Périodicité des contrôles techniques internes de radioprotection des sources radioactives

Type de sources radioactives		Contrôle interne	Contrôle externe
Scellée	Source de haute activité (au sens de la directive européenne 2003/122)	Trimestrielle	Annuelle
	Source scellée dont la classification ne répond pas à celle recommandée par la norme ISO 2919 pour l'utilisation considérée ou source scellée bénéficiant d'une prolongation d'utilisation au-delà de 10 ans (R 1333-52 du code de la santé publique)	Semestrielle	Annuelle
	Source scellée dont la classification répond à celle recommandée par la norme ISO 2919 pour l'utilisation considérée.	Annuelle	Annuelle
Non scellée		Mensuelle	Annuelle

6. LES PROTECTIONS

6.1. LES MODES DE PROTECTION

L'organisme de radioprotection assiste l'exploitant pour définir la protection des travailleurs, la mettre en place, veiller à sa mise à jour, et contrôler son efficacité. La radioprotection repose sur :

- **La distance** – les substances radioactives émettent leurs rayonnements dans toutes les directions d'une sphère dont elles sont le centre. En conséquence, une surface définie voit le champ de rayonnement qui l'atteint décroître selon le carré de la distance qui la sépare du point d'émission.
- **La durée d'exposition** – est réduite considérablement par une préparation minutieuse des gestes à accomplir et une parfaite coordination des intervenants. Un entraînement sur maquette est souvent pratiqué.
- **Les écrans** – absorbent tout ou partie des rayonnements : une feuille de papier stoppe les rayonnements alpha, une feuille d'aluminium les bêta, les rayonnements gamma sont réduits de 90 % par 2 à 3 cm de plomb selon leur énergie. Les substances les plus radioactives sont regroupées au sein de "cellules chaudes" derrière des murs en plomb et des hublots en verre au plomb.
- **Le confinement** – qu'il s'agisse de pulvérulent (avec risque d'aérosols), de liquide ou de gaz, la protection repose sur leur confinement statique (boîte de "conservation" scellée ou enceinte étanche) ou dynamique (mise en dépression du poste de travail par une ventilation avec filtration). L'ensemble des locaux est conditionné en dépression par une ventilation qui maintient les zones exemptes de tout risque et accessibles aux travailleurs. L'air est évacué par une cheminée après passage sur des filtres de très haute efficacité, et subit une mesure de contrôle permanente.
- **Les équipements** – les postes de travail sont équipés de dispositifs de protection : télémanipulateurs, système de transfert mécanique, etc.
- **La protection individuelle** – pour pénétrer en zone contrôlée, les intervenants abandonnent leur vêtements personnels pour revêtir une tenue de travail ; en fonction de leurs activités, ces tenues sont adaptées à la nature des risques encourus : tenues d'isolement ou étanches avec bottes, surbottes, gants (souvent plusieurs paires, selon les risques), combinaison, couvre-tête, masque, scaphandre étanche, etc.
- **La surveillance** – le fonctionnement de l'ensemble de l'installation est maintenu sous la surveillance des dispositifs de contrôle dont les informations sont regroupées dans la salle de commande. Les agents de radioprotection effectuent une surveillance directe aux points sensibles de l'installation.
- **L'intervention** – une équipe, particulièrement entraînée, est constamment prête à intervenir en cas d'incident ou d'accident. Elle comprend, outre des agents de radioprotection, des pompiers, des sauveteurs, des agents habilités à effectuer les consignations (électricité, circuits de contrôle/commande, fluide, ventilation, etc.).

6.2. LE BALISAGE

Au-delà du balisage des zones contrôlées et des locaux à risque, chaque constituant d'un procédé de production mis en œuvre dans une installation (broyeur, malaxeur, cuve, boîte à gant, tuyauterie, système de transfert, conteneur, etc.) reçoit un panneau informant le personnel de la nature physico-chimique et radiologique des produits contenus, ainsi que des risques spécifiques (irradiation, contamination, explosibilité, inflammabilité, volatilité, etc.). Il en est de même pour les composants en cours de maintenance (consignation, sous ou hors tension, vanne ouverte ou fermée, etc.).

6.3. TRAÇABILITÉ

Conformément aux Règles Générales d'Exploitation (RGE) et aux Règles Fondamentales de Sûreté (RFS) chaque intervention, selon le principe de traçabilité, fait l'objet d'un "bon de travail" validé par chacun des responsables concernés de l'Installation. Le résultat de l'intervention est à son tour enregistré et diffusé aux responsables, avec la mention des anomalies et des incidents éventuels.

7. LES CONTRÔLES

7.1. PRINCIPES

Quelles que soient les précautions prises à la conception, la réalisation et l'exploitation des installations, un écart de fonctionnement est toujours possible. Ces dysfonctionnements peuvent être provoqués par une imprévision, une évolution du procédé, le défaut ou la panne d'un équipement, mais aussi parfois par la répétition des gestes, l'habitude ou la routine... causes qui relèvent du "facteur humain". L'exploitant prend toutes sortes de précautions pour prévenir ces dysfonctionnements en mettant en œuvre de nombreux contrôles : mesures de température, de débit, de niveaux, etc. La radioprotection vient compléter ces dispositions.

Selon la réglementation, tout employeur est chargé de faire procéder régulièrement aux :

- contrôles des sources et de leurs appareils de protection,
- contrôles d'ambiance,
- contrôle des travailleurs exposés.

Les appareils de mesures doivent être en bon état et être étalonnés régulièrement. Les résultats des contrôles sont consignés dans les journaux de l'installation et tenus à la disposition de l'Inspection du Travail, des inspecteurs de l'IRSN et du CHSCT. Ils peuvent être :

- en ligne, constamment disponibles et enregistrés à la Salle de Commande,
- ponctuels, effectués par un agent de radioprotection ou un opérateur,
- différés, prélèvements envoyés en laboratoire pour analyse,

Dans ces deux derniers cas les résultats sont consignés sur des fiches d'intervention ou d'analyse.

7.2. CONTRÔLES D'AMBIANCE

- **Irradiation** : il s'agit de mesures des rayonnements X ou gamma, à l'aide de chambre d'ionisation ou de scintillateurs de grandes dimensions, destinés à surveiller les concentrations de radionucléides ou leurs mouvements dans les locaux surveillés, notamment le mouvement des conteneurs.
- **Gaz et aérosols** : la surveillance d'une éventuelle contamination de l'atmosphère (perte d'étanchéité d'une cellule chaude, fuite de tuyauterie, etc.) est effectuée en ligne à l'aide de chambre à circulation et de filtre déroulant (« Babars ») ou bien encore de façon différée par prélèvement sur filtre fixe ou barbotage dans un liquide approprié (photoscintillateur).
- **Contamination de surface** : elle est contrôlée ponctuellement à l'aide de détecteurs plans déplacés au-dessus des surfaces suspectes ou à l'aide de frottis (frottement d'une surface par un tampon de coton) transmis au laboratoire.

7.3. CONTRÔLES DE SORTIE DE ZONE CONTRÔLÉE ET DE SITE

Chaque agent sortant de zone balisée se contrôle sur des appareils adaptés au type de risque : mains et pieds en montant sur une borne, ou corps entier en passant sous un portique, ou encore à l'aide d'une sonde manuelle. En cas de détection, le point de contamination est recherché et isolé (pause d'un adhésif), l'agent quitte sa tenue

d'intervention et se contrôle à nouveau. Si la détection de contamination persiste, l'agent passe à la douche ou est dirigé vers le service médical pour y être soigneusement décontaminé.

Tous les objets, outils, appareils de mesure portables, etc. sont contrôlés de la même façon. A titre préventif, aucun objet, aucune matière consommable ne doivent être introduite en zone balisée et tout particulièrement les notices, rechanges, etc. et encore moins les emballages.

Tous les conteneurs, les emballages ou les fûts de déchets sont contrôlés avant d'être chargés. Les véhicules de transport (par rail ou par route) le sont à leur tour une fois chargés. Ces contrôles sont effectués à l'aide de portiques ou de sondes manuelles. Les portes de sortie du site, pour le personnel et les véhicules, sont équipées de détecteurs.

7.4. CONTRÔLE DE LA VENTILATION

Derrière le contrôle atmosphérique en zone balisée, la ventilation est surveillée de deux façons : par la mesure de la radioactivité s'accumulant sur les filtres "absolus" avant rejet à l'atmosphère, et par prélèvement sur filtre déroulant, filtre fixe, et chambre à circulation.

7.5. CONTRÔLE DES EFFLUENTS LIQUIDES

Les effluents liquides sont regroupés dans des cuves et contrôlés par prélèvement avant rejet aux émissaires dédiés à cet effet. Le débit de rejet est réglé de façon à respecter les limites fixées dans l'autorisation de rejet dont bénéficie l'installation.

7.6. CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT

Après avoir fait l'objet d'une surveillance au point de rejet (cheminée, exutoire des effluents liquides) les rejets sont contrôlés dans l'environnement, jusqu'à plusieurs kilomètres de l'installation :

- **surveillance atmosphérique** : des stations de mesure sont réparties autour du site à surveiller, et en particulier sous les vents dominants. Les contrôles comportent des filtres déroulant dont les résultats peuvent être transmis par radio à la Salle de Commande du site, des filtres fixes relevés régulièrement (semaine, mois), des prélèvements d'eau de pluie dans des bidons sous un pluviomètre. Ce réseau est complété par des véhicules, équipés de détecteurs et de prélèvements sur filtre, afin de boucler la zone surveillée, et éventuellement de suivre l'impact d'un panache à partir de la cheminée de rejet.
- **surveillance du réseau hydraulique** : une station de mesure en aval du point de rejet permet d'effectuer des contrôles continus à l'aide d'une sonde immergée ou d'un dépôt sur filtre déroulant ou fixe, des prélèvements réguliers sont analysés en laboratoire. Un réseau de piézomètres (forages) permet d'effectuer des prélèvements dans la nappe phréatique et de vérifier l'absence d'infiltration d'effluents.
- **surveillance du biotope** : des prélèvements dans la faune et la flore ainsi que de terre, de vase, etc. permettent de vérifier de façon continue l'absence d'impact radiologique de l'installation sur son environnement.

ACRONYMES

AIEA	Agence Internationale de l'Energie Atomique
ASN	Autorité de sûreté nucléaire
ASND	Autorité de sûreté nucléaire de Défense
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
CCINB	Commission Consultative des Installations Nucléaires de Base
CEFRI	Comité français de Certification des Entreprises pour la Formation et le suivi du personnel travaillant sous Rayonnement Ionisant
CHSCT	Comité d'Hygiène, de Sécurité, et des Conditions de Travail
CIINB	Commission Interministérielle des Installations Nucléaires de Base (devenue CCINB)
CIPR	Commission internationale de protection radiologique (ICRP en anglais)
DPIU	Dose par unité d'incorporation d'un radionucléide
Euratom	European Atomic Energy Community (mise en place le 1 ^{er} juin 1960)
HCTISN	Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire
HFDS	Haut Fonctionnaire à la Défense et la Sécurité
ICPE	installation classée pour la protection de l'environnement
INB	installation nucléaires de base
INBS	installation nucléaires de base classée secrète
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
LAI	limite annuelle d'incorporation
LDCA	limite dérivée de concentration dans l'air
LPCA	limites pratiques de contamination dans l'air
RCA	repère en concentration atmosphérique
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCR	Personne compétente en radioprotection
SFR	Société Française de Radiologie
SFRP	Société Française de Radioprotection
SGDSN	Secrétaire Général de la Défense et de la Sécurité Nationale
TSN	loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la Transparence et à la Sécurité en matière Nucléaire
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation