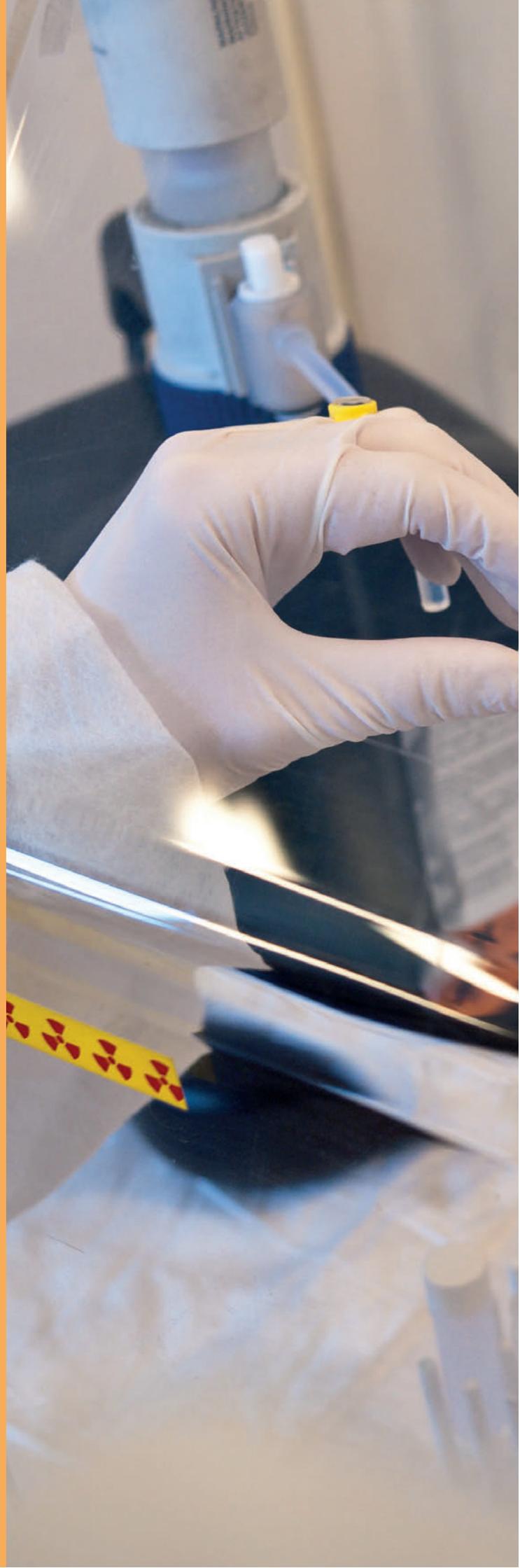
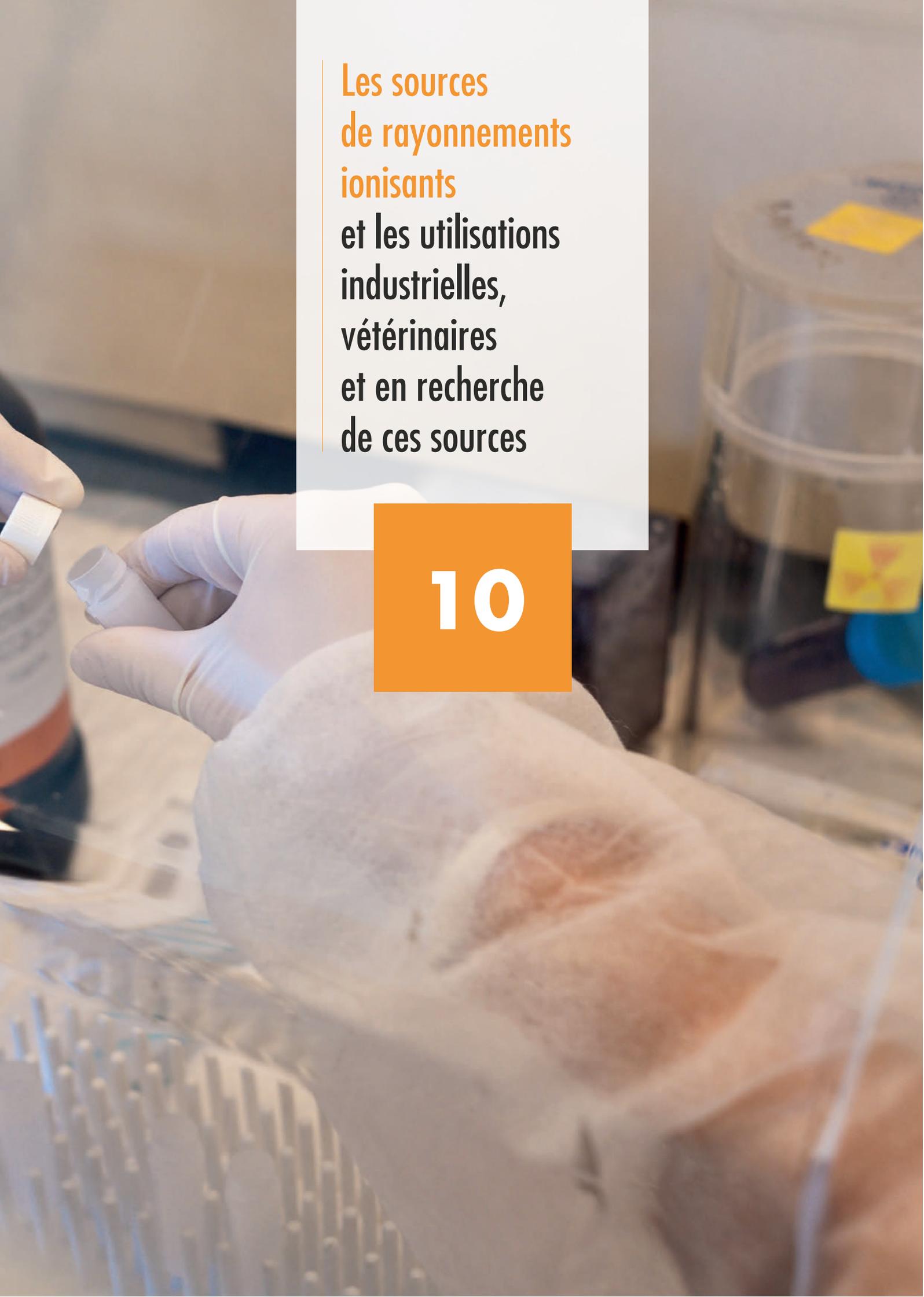


1. Les utilisations industrielles, de recherche et vétérinaires des sources radioactives	290
1.1 Les sources radioactives scellées	
1.1.1 L'irradiation industrielle	
1.1.2 La gammagraphie	
1.1.3 Le contrôle de paramètres physiques	
1.1.4 L'activation neutronique	
1.1.5 Les autres applications courantes	
1.2 Les sources radioactives non scellées	
2. L'utilisation des appareils électriques émettant des rayonnements ionisants en secteur industriel, de recherche et vétérinaire	293
2.1 Les applications industrielles	
2.2 Le radiodiagnostic vétérinaire	
2.3 Les accélérateurs de particules	
2.4 Les autres appareils électriques émettant des rayonnements ionisants	
3. Les fabricants et distributeurs de sources radioactives	296
4. La réglementation des activités industrielles, de recherche et vétérinaires	297
4.1 Les autorités réglementant les sources de rayonnements ionisants	
4.2 Les autorisations et déclarations des sources de rayonnements ionisants utilisées à des fins non médicales	
4.2.1 La prise en compte des principes de radioprotection dans la réglementation des activités non médicales	
4.2.2 Les régimes d'autorisation et de déclaration applicables	
4.2.3 Les statistiques de l'année 2017	
4.3 Les activités non justifiées ou interdites	
4.3.1 L'application de l'interdiction d'addition intentionnelle de radionucléides dans les biens de consommation ou de construction	
4.3.2 L'application du principe de justification pour les activités existantes	
4.4 Le renforcement de la réglementation des appareils électriques générateurs de rayonnements ionisants	
4.5 La mise en place d'un contrôle de la protection des sources radioactives contre les actes de malveillance	
4.5.1 L'organisation retenue pour le contrôle de la sécurité des sources	
4.5.2 Les sources et installations concernées	
4.5.3 Un premier repérage des conditions de sécurité des sources scellées de haute activité	
4.5.4 Les travaux réglementaires	
5. Les principaux incidents en 2017	305
6. L'appréciation sur la radioprotection dans les domaines industriel, de recherche et vétérinaire, et les perspectives	307





**Les sources
de rayonnements
ionisants
et les utilisations
industrielles,
vétérinaires
et en recherche
de ces sources**

10

Le secteur industriel et la recherche utilisent depuis longtemps des sources de rayonnements ionisants dans une grande variété d'applications et de lieux d'utilisation. L'enjeu de la réglementation relative à la radioprotection est de contrôler que la protection des travailleurs, du public et de l'environnement est correctement assurée. Cette protection passe notamment par la maîtrise de la gestion des sources, souvent mobiles et utilisées sur les chantiers, et par le suivi de leurs conditions de détention, d'utilisation et d'élimination, depuis leur fabrication jusqu'à leur fin de vie. Elle passe également par la responsabilisation et le contrôle d'acteurs centraux : les fabricants et les fournisseurs des sources.

La mise à jour en cours du cadre réglementaire des activités nucléaires inscrit dans le code de la santé publique et le code du travail (voir chapitre 3) conduit à un renforcement du principe de justification, la prise en compte des radionucléides naturels, la mise en œuvre d'une approche plus graduée au niveau des régimes administratifs et la mise en place de mesures de protection des sources contre les actes de malveillance. Ces évolutions vont apporter des modifications substantielles dans le contrôle des activités industrielles, de recherche et vétérinaires de manière progressive à partir de l'année 2018.

Les rayonnements utilisés proviennent soit de radionucléides – essentiellement artificiels – en sources scellées ou non, soit d'appareils électriques générant des rayonnements ionisants. Les applications présentées dans ce chapitre concernent la fabrication et la distribution de toutes les sources, les utilisations industrielles, de recherche et vétérinaires (les activités médicales sont présentées dans le chapitre 9) et les activités ne relevant pas du régime des installations nucléaires de base (celles-ci sont présentées dans les chapitres 12, 13 et 14).

1. Les utilisations industrielles, de recherche et vétérinaires des sources radioactives

1.1 Les sources radioactives scellées

Les sources radioactives scellées sont définies comme les sources dont la structure ou le conditionnement empêche, en utilisation normale, toute dispersion de substances radioactives dans le milieu ambiant. Leurs principales utilisations sont présentées ci-après.

1.1.1 L'irradiation industrielle

L'irradiation industrielle est employée pour la stérilisation de dispositifs médicaux, de produits pharmaceutiques ou cosmétiques et la conservation de produits alimentaires. Elle est également un moyen utilisé afin de modifier volontairement les propriétés de matériaux, par exemple pour le durcissement des polymères.

Ces techniques d'irradiation de produits de consommation peuvent être autorisées car, à l'issue de leur traitement, ces produits ne présentent aucune radioactivité artificielle résiduelle (les produits sont stérilisés en passant dans un rayonnement sans être eux-mêmes « activés » à l'issue du traitement).

Les irradiateurs industriels utilisent souvent des sources de cobalt-60 dont l'activité peut être très importante et dépasser 250 000 térabecquerels (TBq). Certaines de ces installations sont classées installations nucléaires de base (INB) (voir chapitre 14). Dans de nombreux secteurs, l'utilisation de sources scellées de haute activité pour l'irradiation de produits est progressivement remplacée par l'utilisation d'appareils électriques émettant des rayons X (voir point 2).

1.1.2 La gammagraphie

La gammagraphie est une méthode de contrôle non destructif qui permet d'apprécier des défauts d'homogénéité dans des matériaux, notamment les cordons de soudure. Elle consiste à obtenir une radiographie sur un support argentique ou numérique en utilisant les rayonnements gamma émis par une source radioactive et traversant l'objet à contrôler.

Elle est fréquemment employée dans différents secteurs industriels tels que la chaudronnerie, la pétrochimie, les centrales nucléaires, les travaux publics, l'aéronautique ou l'armement lors d'opérations de fabrication ou de maintenance.

Les appareils de gammagraphie contiennent des sources scellées de haute activité, principalement de l'iridium-192, du cobalt-60 ou du sélénium-75, dont l'activité peut atteindre une vingtaine de térabecquerels. Un appareil de gammagraphie est le plus souvent un appareil mobile pouvant être déplacé d'un chantier à l'autre. Il se compose principalement :

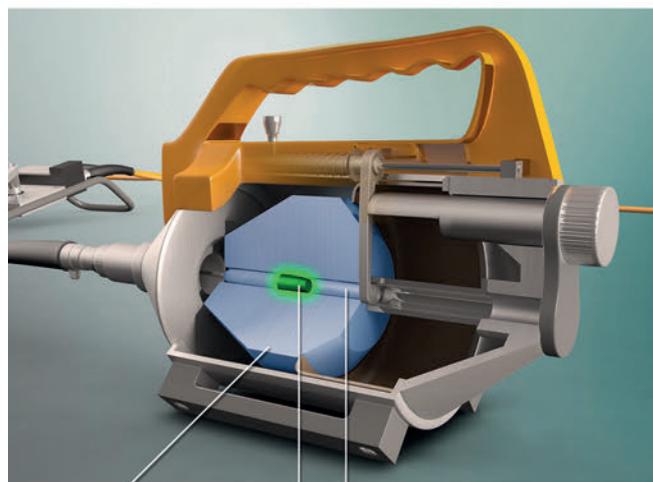
- d'un projecteur de source servant de conteneur de stockage et assurant une protection radiologique quand la source n'est pas utilisée ;
- d'une gaine d'éjection destinée à permettre le déplacement de la source et à la guider jusqu'à l'objet à radiographier ;
- et d'une télécommande permettant la manipulation à distance par l'opérateur.

Lors de l'éjection de la source hors de l'appareil, les débits de dose peuvent atteindre plusieurs grays par heure à un mètre, en fonction du radionucléide et de son activité.

Du fait de l'activité des sources et du déplacement de la source hors du conteneur de stockage pendant l'utilisation de l'appareil, la gammagraphie peut présenter des risques importants pour

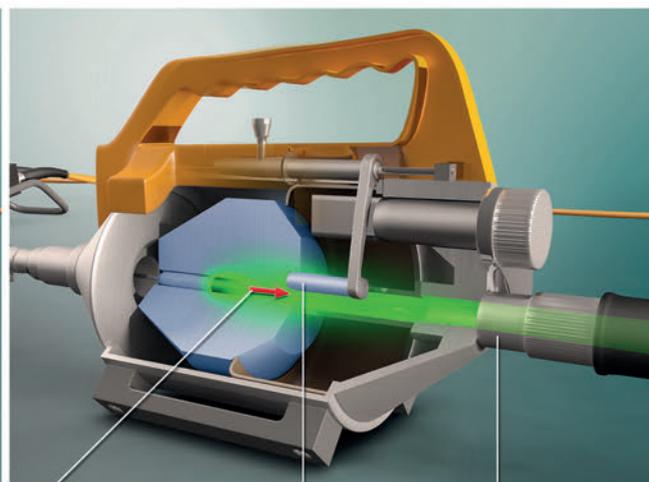
SCHEMA de principe de fonctionnement d'un gammagraphe

Position de sécurité



Blindage Source Doigt obturateur en position sécurisée

Position ouverte



Sens d'éjection de la source Doigt obturateur en position ouverte Gaine d'éjection

les opérateurs en cas de mauvaise manipulation, de non-respect des règles de radioprotection ou d'incidents de fonctionnement. Par ailleurs, ces activités de gammagraphie sont fréquemment menées sur des chantiers ou installations dans des conditions difficiles (travail de nuit ou lieu de travail exposé aux intempéries ou exigü). À ce titre, c'est une activité à enjeu fort de radioprotection, qui figure parmi les priorités de contrôle de l'ASN.

1.1.3 Le contrôle de paramètres physiques

Le principe de fonctionnement des appareils de contrôle de paramètres physiques est l'atténuation du signal émis: la différence entre le signal émis et le signal reçu permet d'évaluer l'information recherchée.

Les radioéléments les plus couramment employés sont le carbone-14, le krypton-85, le césium-137, l'américium-241, le cobalt-60 et le prométhéum-147. Les activités des sources sont comprises entre quelques kilobecquerels (kBq) et quelques gigabecquerels (GBq).

Les sources sont utilisées à des fins de :

- mesure d'empoussièrement de l'atmosphère : l'air est filtré en permanence sur un ruban défilant à vitesse contrôlée, interposé entre la source et le détecteur. L'intensité du rayonnement reçu par le détecteur est fonction du taux d'empoussièrement du filtre, ce qui permet de déterminer ce taux. Les sources utilisées le plus fréquemment sont le carbone-14 (activité 3,5 mégabecquerels – MBq) ou le prométhéum-147 (activité 9 MBq). Ces mesures sont réalisées pour assurer une surveillance de la qualité de l'air par le contrôle de la teneur en poussières des rejets d'usines ;
- mesure de grammage de papier : un faisceau de rayonnement bêta traverse le papier et est reçu sur un détecteur situé en vis-à-vis. L'atténuation du signal sur ce détecteur permet de connaître la densité du papier et donc le grammage. Les sources utilisées sont, en général, le krypton-85, le prométhéum-147 et l'américium-241, avec des activités ne dépassant pas 3 GBq ;
- mesure de niveau de liquide : un faisceau de rayonnement gamma traverse le conteneur dans lequel se trouve un liquide. Il est reçu sur un détecteur situé en vis-à-vis. L'atténuation



COMPRENDRE

La gammagraphie au sélénium-75

L'emploi de sélénium-75 en gammagraphie est autorisé en France depuis 2006. Mis en œuvre dans les mêmes appareils que ceux fonctionnant à l'iridium-192, l'emploi de sélénium-75 en gammagraphie présente des avantages notables en termes de radioprotection. En effet, les débits d'équivalent de dose sont d'environ 55 millisieverts (mSv) par heure et par TBq à un mètre de la source contre 130 mSv/h/TBq pour l'iridium-192. En France, environ 17 % des appareils sont équipés avec une source de sélénium-75. Bien qu'en constante augmentation depuis 2014, l'ASN juge son utilisation encore trop peu privilégiée par les acteurs industriels. Pourtant, son utilisation est possible en remplacement de l'iridium-192 dans de nombreux domaines industriels, notamment en pétrochimie ou en chaudronnerie et permet de réduire considérablement les périmètres de sécurité mis en place et de faciliter les interventions en cas d'incident (voir point 5).

- du signal sur ce détecteur permet de connaître le niveau de remplissage du conteneur et de déclencher automatiquement certaines opérations (arrêt/poursuite du remplissage, alarme, etc.). Les radionucléides utilisés dépendent des caractéristiques du contenant et du contenu. On utilise en général, selon le cas, de l'américium-241 (activité 1,7 GBq) ou du césium-137 – baryum-137m (activité 37 MBq) ;
- mesure de densité et de pesage : le principe est le même que pour les deux précédentes mesures. Les sources utilisées sont, en général, l'américium-241 (activité 2 GBq), le césium-137 – baryum-137m (activité 100 MBq) ou le cobalt-60 (30 GBq) ;
 - mesure de densité et d'humidité des sols (gammadensimétrie), en particulier dans l'agriculture et les travaux publics. Ces appareils fonctionnent avec un couple de sources d'américium-béryllium et une source de césium-137 ;

- diagraphie permettant d'étudier les propriétés géologiques des sous-sols par introduction d'une sonde de mesure comportant une source de cobalt-60, de césium-137, d'américium-241 ou de californium-252. Certaines sources utilisées sont des sources scellées de haute activité.

1.1.4 L'activation neutronique

L'activation neutronique consiste à irradier un échantillon par un flux de neutrons pour en activer les atomes. Le nombre et l'énergie des photons gamma émis par l'échantillon en réponse aux neutrons reçus sont analysés. Les informations recueillies permettent de déduire la concentration des atomes dans la matière analysée.

Cette technologie est utilisée en archéologie pour caractériser des objets anciens, en géochimie pour la prospection minière et dans l'industrie (étude de la composition des semi-conducteurs, analyse des crus cimentiers).

Compte tenu de l'activation de la matière analysée, elle nécessite une vigilance particulière sur la nature des objets analysés. En effet, l'article R. 1333-3 du code de la santé publique interdit l'utilisation, pour la fabrication des biens de consommation et des produits de construction, des matériaux et des déchets provenant d'une activité nucléaire, lorsque ceux-ci sont contaminés ou susceptibles de l'être par des radionucléides, y compris par activation (voir point 4.3).

1.1.5 Les autres applications courantes

Des sources scellées peuvent être également mises en œuvre pour :

- l'élimination de l'électricité statique ;
- l'étalonnage d'appareils de mesure de la radioactivité (métrologie des rayonnements) ;

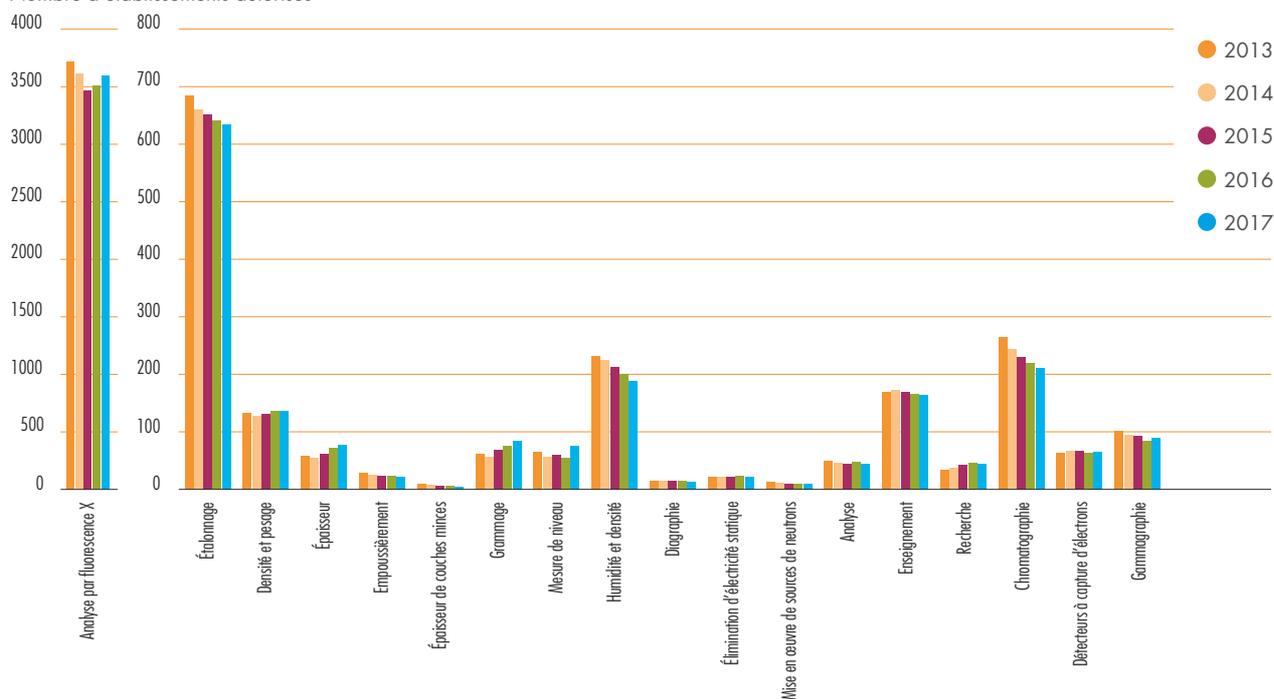
- l'enseignement lors de travaux pratiques sur les phénomènes de radioactivité ;
- la détection par capture d'électrons. Cette technique met en œuvre des sources de nickel-63 dans des chromatographes en phase gazeuse et permet la détection et le dosage de différents éléments chimiques ;
- la spectrométrie de mobilité ionique utilisée dans des appareils, souvent portatifs, permettant la détection d'explosifs, de drogues ou de produits toxiques ;
- la détection par fluorescence X. Cette technique trouve son utilisation, en particulier, dans la détection du plomb dans les peintures. Les appareils portatifs aujourd'hui utilisés contiennent des sources de cadmium-109 (d'une période de 464 jours) ou de cobalt-57 (d'une période de 270 jours). L'activité de ces sources peut aller de 400 MBq à 1 500 MBq. Cette technique, qui utilise un nombre important de sources radioactives sur le territoire national (près de 4 000 sources), découle d'un dispositif législatif de prévention du saturnisme infantile, qui impose un contrôle de la concentration en plomb dans les peintures dans les immeubles à usage d'habitation construits avant le 1^{er} janvier 1949, lors de toute vente, de tout nouveau contrat de location ou des travaux affectant substantiellement les revêtements dans des parties communes.

Le graphique 1 précise le nombre d'établissements autorisés à mettre en œuvre des sources radioactives scellées dans les applications recensées. Il illustre la diversité de ces applications et leur évolution sur ces cinq dernières années.

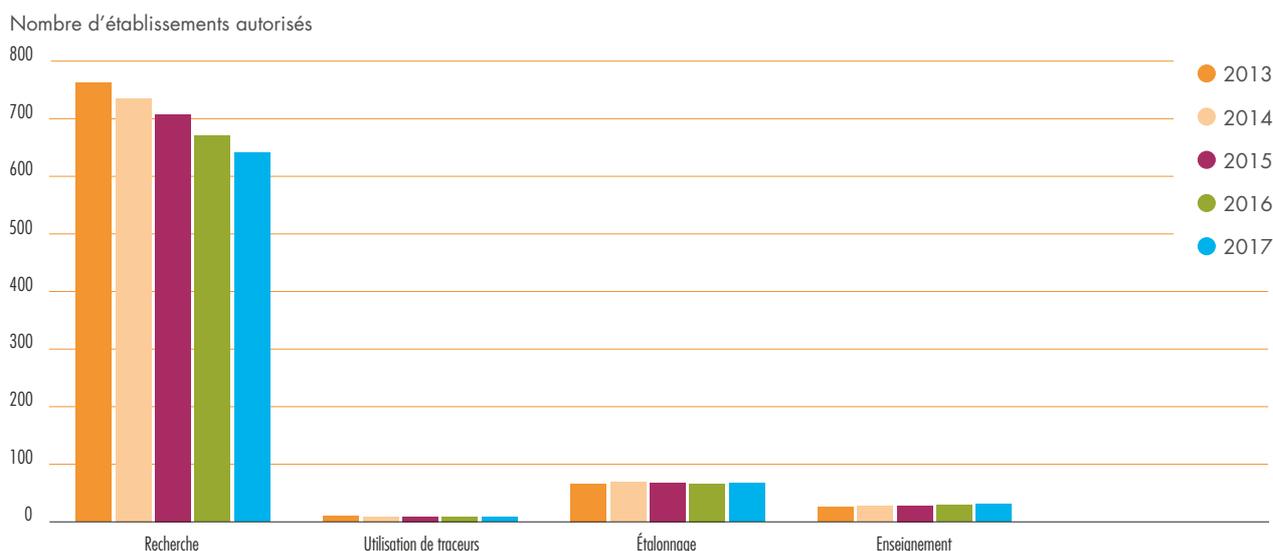
Il convient de noter qu'un même établissement peut exercer plusieurs de ces activités et, dans ce cas, il apparaît pour chacune de ses activités dans le graphique 1 et dans les diagrammes suivants.

GRAPHIQUE 1 : utilisation des sources radioactives scellées

Nombre d'établissements autorisés



GRAPHIQUE 2 : utilisation des sources radioactives non scellées



1.2 Les sources radioactives non scellées

Les principaux radionucléides utilisés sous forme de sources non scellées dans les applications non médicales sont le phosphore-32 ou 33, le carbone-14, le soufre-35, le chrome-51, l'iode-125 et le tritium. Ils sont notamment employés dans le secteur de la recherche et les établissements pharmaceutiques. Ils sont un outil puissant d'investigation en biologie cellulaire et moléculaire. L'utilisation de traceurs radioactifs incorporés à des molécules est très courante en recherche biologique. Quelques utilisations sont relevées dans le milieu industriel, comme traceurs ou à des fins d'étalonnage ou d'enseignement. Les sources non scellées servent de traceurs pour des mesures d'usure, de recherche de fuites, de frottement, de construction de modèles hydrodynamiques ainsi qu'en hydrologie.

Le nombre d'établissements autorisés à utiliser des sources non scellées au 31 décembre 2017 est de 747.

Le graphique 2 précise le nombre d'établissements autorisés à mettre en œuvre des sources radioactives non scellées dans les applications recensées ces cinq dernières années.

2. L'utilisation des appareils électriques émettant des rayonnements ionisants en secteur industriel, de recherche et vétérinaire

Dans l'industrie, les appareils électriques émettant des rayonnements ionisants sont utilisés principalement dans le domaine du contrôle non destructif où ils se substituent à des dispositifs qui contiennent des sources radioactives. Ils sont également mis en œuvre dans les applications vétérinaires pour le diagnostic. Les graphiques 3 et 4 précisent le nombre d'établissements autorisés à mettre en œuvre des appareils électriques générant des rayonnements ionisants dans les applications recensées. Ils illustrent la diversité de ces applications et leur évolution durant

les cinq dernières années. Cette évolution est étroitement liée aux modifications réglementaires qui ont progressivement mis en place un nouveau régime d'autorisation ou de déclaration pour l'utilisation de ces appareils. À ce jour, la régularisation de la situation des professionnels concernés est très largement engagée dans de nombreux secteurs d'activité.

2.1 Les applications industrielles

Les appareils électriques émettant des rayonnements ionisants sont principalement des générateurs de rayons X. Ils sont utilisés dans l'industrie, pour les analyses structurales non destructives (techniques d'analyse comme la tomographie, la diffractométrie appelée aussi radiocristallométrie...), les vérifications de la qualité des cordons de soudure ou le contrôle de la fatigue des matériaux (notamment en aéronautique).

Ces appareils, fonctionnant sur le principe d'atténuation des rayons X, sont également utilisés comme jauges industrielles (mesure de remplissage de fûts, mesure d'épaisseur...), pour le contrôle de contenants de marchandises ou de bagages et également pour la détection de corps étrangers dans les produits alimentaires.

L'augmentation croissante des types d'appareils disponibles sur le marché s'explique notamment par le fait qu'ils se substituent, lorsque c'est possible, aux appareils contenant des sources radioactives. Les avantages procurés par cette technologie en matière de radioprotection sont notamment liés à l'absence totale de rayonnements ionisants lorsque le matériel n'est pas utilisé. Leur utilisation, en revanche, conduit à des niveaux d'exposition des travailleurs qui sont tout à fait comparables à ceux dus à l'utilisation d'appareils à source radioactive.

La radiographie à des fins de vérification de la qualité des cordons de soudure ou du contrôle de la fatigue des matériaux

Ce sont des appareils fixes ou de chantier utilisant des faisceaux directionnels ou panoramiques qui se substituent aux appareils

de gammagraphie (voir point 1.1.2) lorsque les conditions de mise en œuvre le permettent.

Ces appareils peuvent être utilisés pour des emplois plus spécifiques, tels que la réalisation de radiographies en vue de la restauration d'instruments de musique ou de tableaux, l'étude en archéologie de momies ou l'analyse de fossiles.

Le contrôle de bagages

Que ce soit pour une vérification systématique des bagages ou pour déterminer le contenu de colis suspects, les rayonnements ionisants sont utilisés en permanence lors des contrôles de sécurité. Les plus petits et les plus répandus de ces appareils sont installés aux postes d'inspections et de filtrages des aéroports, dans les musées, à l'entrée de certains bâtiments...

Les appareils dont la section du tunnel est plus importante sont utilisés pour le contrôle des bagages de grande taille et le contrôle de bagages en soute dans les aéroports mais également lors des contrôles du fret aérien. Cette gamme d'appareil est complétée par des tomographes, qui permettent d'obtenir une série d'images en coupe de l'objet examiné.

La limitation de la zone d'irradiation à l'intérieur de ces appareils est matérialisée parfois par des portes mais le plus souvent seulement par un ou plusieurs rideaux plombés.

Les scanners corporels à rayons X

Cette application est présentée à titre indicatif puisque l'utilisation de scanners à rayons X sur les personnes pour des contrôles de sécurité est interdite en France (en application de l'article L. 1333-11 du code de la santé publique). Certaines expérimentations ont été menées en France avec des technologies d'imagerie non ionisantes (ondes millimétriques).

Le contrôle de produits de consommation

Depuis quelques années, l'utilisation d'appareils permettant la détection de corps étrangers dans certains produits de consommation se développe, comme la recherche d'éléments indésirables dans les produits alimentaires ou les produits cosmétiques.

L'analyse par diffraction X

Les laboratoires de recherche s'équipent de plus en plus souvent de ce type de petits appareils qui sont autoprotégés. Des dispositifs expérimentaux utilisés en vue d'analyse par diffraction X peuvent cependant être composés de pièces provenant de divers fournisseurs (goniomètre, porte échantillon, tube, détecteur, générateur haute tension, pupitre...) et assemblées par l'expérimentateur lui-même.

L'analyse par fluorescence X

Les appareils portables à fluorescence X sont destinés à l'analyse de métaux et d'alliages.

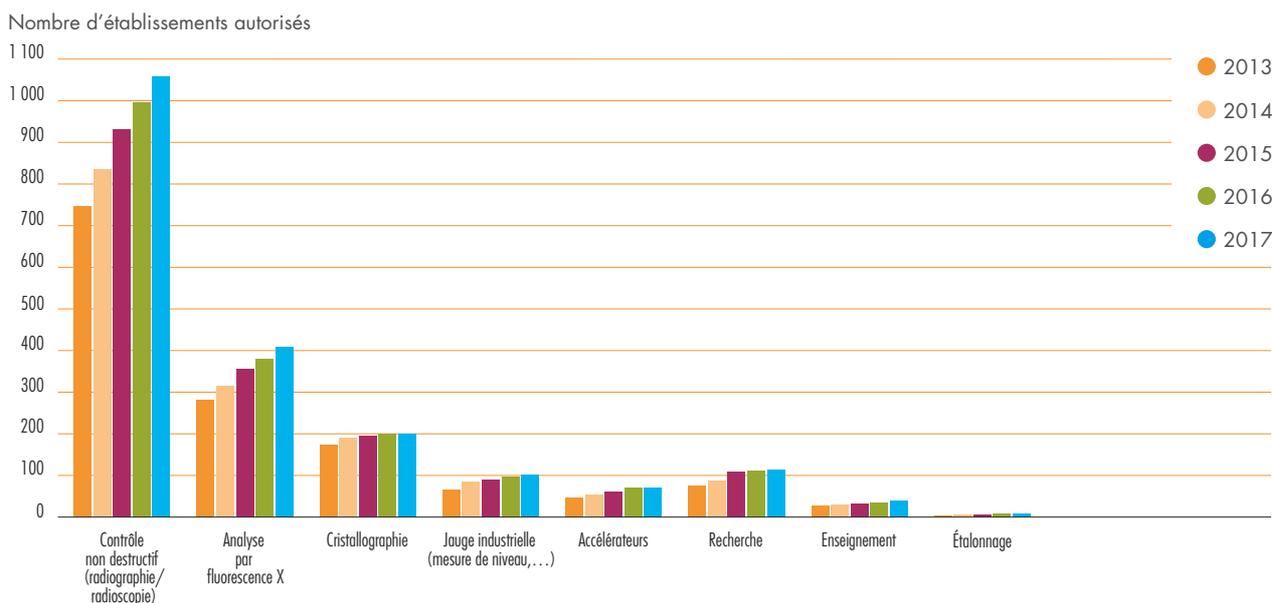
La mesure de paramètres

Les appareils, fonctionnant sur le principe d'atténuation des rayons X, sont utilisés comme jauges industrielles pour réaliser des mesures de niveau de bouteilles, de fûts, des détections de fuites, des mesures d'épaisseur, des mesures de densité...

Le traitement par irradiation

Plus généralement utilisés pour réaliser des irradiations, les appareils autoprotégés existent en plusieurs modèles qui peuvent parfois différer uniquement par la taille de l'enceinte autoprotégée, les caractéristiques du générateur de rayons X restant les mêmes.

GRAPHIQUE 3 : utilisation d'appareils électriques générant des rayonnements ionisants (hors secteur vétérinaire)



2.2 Le radiodiagnostic vétérinaire

La profession compte environ 16 000 praticiens vétérinaires et 14 000 employés non-vétérinaires. Les vétérinaires utilisent des appareils de radiodiagnostic dans un cadre similaire à celui des appareils utilisés en médecine humaine. Les activités de radiodiagnostic vétérinaire portent essentiellement sur les animaux de compagnie :

- 90 % des 5 793 structures françaises sont équipées d'au moins un appareil ;
- une trentaine de scanners sont utilisés dans les applications vétérinaires à ce jour ;
- d'autres pratiques issues du milieu médical sont également mises en œuvre dans des centres spécialisés : la scintigraphie, la curiethérapie ainsi que la radiothérapie externe.

Les soins pratiqués sur les animaux de grande taille (majoritairement les chevaux) requièrent l'utilisation d'appareils plus puissants dans des locaux spécialement aménagés (radiographie du bassin par exemple) et l'utilisation de générateurs de rayons X portables utilisés dans des locaux, dédiés ou non, ainsi qu'à l'extérieur. Cette activité présente des enjeux significatifs de radioprotection pour les vétérinaires et les lads.

Afin d'établir une meilleure adaptation du niveau des exigences réglementaires, l'ASN a introduit un régime de déclaration en 2009 pour les activités dites « canines » présentant de plus faibles enjeux de radioprotection (voir paragraphe 4.2.2). Cette simplification a conduit à la régularisation de la situation administrative d'un nombre croissant de structures vétérinaires (voir graphique 4) avec environ 85 % des établissements déclarés ou autorisés.

Les appareils utilisés dans le secteur vétérinaire proviennent parfois du secteur médical. Cependant, la profession s'équipe de plus en plus d'appareils neufs développés spécifiquement pour ses besoins.

2.3 Les accélérateurs de particules

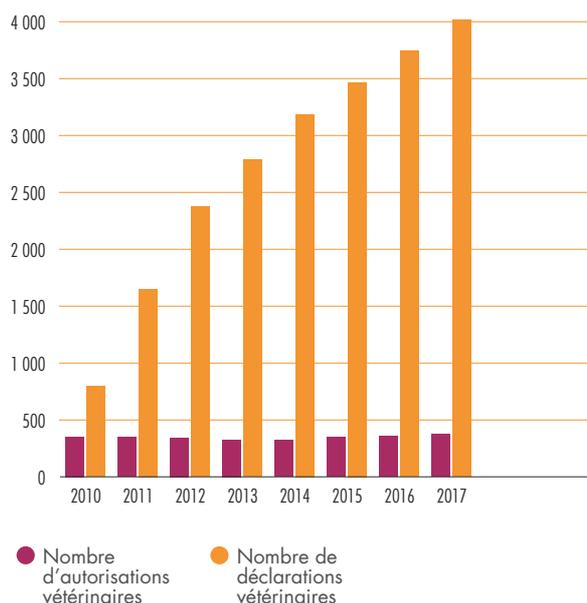
Un accélérateur de particules est défini comme étant un appareillage ou une installation dans lequel des particules chargées électriquement sont soumises à une accélération, émettant des rayonnements ionisants d'une énergie supérieure à 1 mégaelectronvolt (MeV).

Ces installations, lorsqu'elles répondent aux caractéristiques visées à l'article 3 du décret n° 2007-830 du 11 mai 2007 relatif à la nomenclature des INB, sont répertoriées en tant qu'INB.

Certaines applications nécessitent le recours à des accélérateurs de particules produisant, suivant les cas, des faisceaux de photons ou d'électrons. Le parc d'accélérateurs de particules, qu'ils se présentent sous forme linéaire (linacs) ou circulaire (cyclotrons – voir point 3 – et synchrotrons), comprend en France environ 60 installations recensées (hors INB) qui peuvent être utilisées dans des domaines très divers tels que :

- la recherche, pouvant nécessiter parfois le couplage de plusieurs machines (accélérateur, implanteur...);
- la radiographie (accélérateur fixe ou mobile);
- la radioscopie de camions et de conteneurs lors des contrôles douaniers (accélérateurs fixes ou mobiles);

GRAPHIQUE 4 : utilisation d'appareils électriques générant des rayonnements ionisants pour les activités vétérinaires



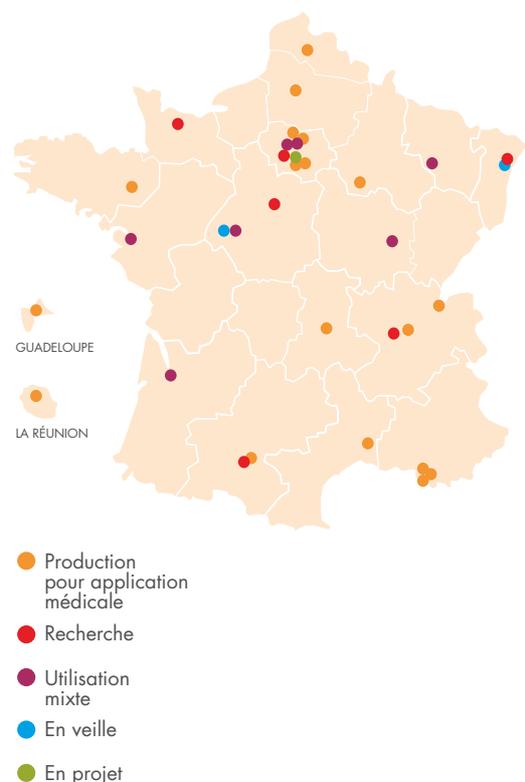
- la modification des propriétés des matériaux ;
- la stérilisation ;
- la conservation de produits alimentaires ;
- etc.

Dans le domaine de la recherche, on peut citer deux installations de production de rayonnement synchrotron en France : l'ESRF (*European Synchrotron Radiation Facility*) de Grenoble et le synchrotron Soleil (Source optimisée de lumière d'énergie) à Gif-sur-Yvette.

Depuis quelques années, des accélérateurs de particules sont mis en œuvre en France pour la lutte contre la fraude et les grands trafics internationaux. Cette technologie, jugée efficace par les opérateurs, doit cependant être mise en œuvre sous certaines conditions afin de respecter les règles de radioprotection applicables aux travailleurs et au public, en particulier :

- l'interdiction d'activation des produits de construction, des biens de consommation et des denrées alimentaires prévue par l'article R. 1333-2 du code de la santé publique, en veillant à ce que l'énergie maximale des particules émises par les accélérateurs mis en œuvre exclue tout risque d'activation des matières contrôlées ;
- l'interdiction d'usage des rayonnements ionisants sur le corps humain à d'autres fins que médicales ;
- la mise en place de procédures permettant de s'assurer que les contrôles opérés sur les marchandises ou les véhicules de transport ne conduisent pas à une exposition accidentelle de travailleurs ou de personnes. La recherche de migrants illégaux dans les véhicules de transport au moyen de technologies ionisantes est ainsi interdite en France. Lors de contrôles de type douanier par technologie scanner sur les camions, par exemple, les chauffeurs doivent être tenus éloignés du camion et d'autres contrôles doivent être mis en place avant l'irradiation pour détecter l'éventuelle présence de migrants illégaux, afin d'éviter une exposition non justifiée de personnes pendant le contrôle.

IMPLANTATION des cyclotrons en France



4. La réglementation des activités industrielles, de recherche et vétérinaires

Sont rappelées ici les dispositions du code de la santé publique concernant spécifiquement les applications industrielles et de recherche prévues dans le code de la santé publique. Les règles générales sont détaillées dans le chapitre 3 du présent rapport. Le décret en préparation, modifiera les dispositions du code de la santé publique. Ces dispositions sont appelées à évoluer en 2018, notamment avec l'introduction de la protection des sources contre les actes de malveillance et la création d'un nouveau régime administratif d'autorisation simplifiée appelé enregistrement.

4.1 Les autorités réglementant les sources de rayonnements ionisants

L'ASN est l'autorité qui accorde les autorisations, délivrera les décisions d'enregistrement (voir chapitre 3) et reçoit les déclarations, suivant le régime applicable à l'activité nucléaire concernée.

Toutefois, afin de simplifier les démarches administratives des exploitants d'installations déjà autorisées dans le cadre d'un autre régime, le code de la santé publique prévoit des dispositions spécifiques et l'obligation de déclaration ou d'autorisation ne s'applique pas. Cela concerne notamment :

- les sources radioactives détenues, fabriquées et/ou utilisées dans les installations autorisées au titre du code minier (article 83) ou pour les sources radioactives non scellées détenues, fabriquées et/ou utilisées dans les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) relevant des articles L. 511-1 à L. 517-2 du code de l'environnement, qui bénéficient d'un régime d'autorisation. Le préfet est en charge de prévoir, dans



COMPRENDRE

Les cyclotrons

Un cyclotron est un équipement de 1,5 à 4 mètres de diamètre, appartenant à la famille des accélérateurs circulaires de particules. Les particules accélérées sont principalement des protons dont l'énergie peut atteindre jusqu'à 70 MeV. Un cyclotron est composé de deux électroaimants circulaires produisant un champ magnétique et entre lesquels règne un champ électrique, permettant la rotation et l'accélération des particules à chaque tour effectué. Les particules accélérées viennent frapper une cible qui va être activée et produire des radionucléides.

Les cyclotrons de basse et moyenne énergie sont principalement utilisés en recherche et dans l'industrie pharmaceutique pour fabriquer des radionucléides émetteurs de positons, tels que le fluor-18 (^{18}F) ou le carbone-11 (^{11}C). Les radionucléides sont ensuite combinés à des molécules plus ou moins complexes pour devenir des médicaments radiopharmaceutiques utilisés en imagerie médicale. Le plus connu est le ^{18}F -FDG (fluorodésoxyglucose marqué au fluor-18), médicament injectable fabriqué industriellement et couramment utilisé pour le diagnostic précoce de certains cancers.

D'autres médicaments radiopharmaceutiques fabriqués à partir de ^{18}F ont également été développés ces dernières années, tels que la ^{18}F -Choline, le ^{18}F -Na, la ^{18}F -DOPA et d'autres radiopharmaceutiques pour l'exploration du cerveau. Dans une moindre mesure, les autres émetteurs de positons pouvant être fabriqués avec un cyclotron d'une gamme d'énergie équivalente à celle nécessaire pour la production du ^{18}F et du ^{11}C sont l'oxygène-15 et l'azote-13. Toutefois, leur utilisation est encore limitée du fait leur période très courte.

Les ordres de grandeur des activités mises en jeu pour le ^{18}F habituellement rencontrés dans les établissements pharmaceutiques varient de 30 à 500 GBq par tir de production. Les radionucléides émetteurs de positons fabriqués dans le cadre de la recherche mettent en jeu, quant à eux, des activités limitées en général à quelques dizaines de GBq.

les autorisations qu'il délivre, des prescriptions relatives à la radioprotection des activités nucléaires exercées sur le site ;

- les installations et activités intéressant la défense nationale, pour lesquelles l'Autorité de sûreté nucléaire de défense (ASND) est en charge de la réglementation des aspects relatifs à la radioprotection ;
- les installations autorisées au titre du régime des INB. L'ASN réglemente les sources radioactives et appareils électriques émettant des rayonnements ionisants nécessaires au fonctionnement de ces installations dans le cadre de ce régime. La détention et l'utilisation des autres sources détenues sur le périmètre de l'INB restent soumises à autorisation au titre du R. 1333-17 du code de la santé publique.

Ces dispositions ne dispensent pas le bénéficiaire du respect des prescriptions du code de la santé publique, et en particulier de celles relatives à l'acquisition et à la cession des sources ; elles ne s'appliquent pas aux activités de distribution, importation et exportation de sources radioactives, qui restent soumises à une autorisation de l'ASN au titre du code de la santé publique.

Depuis la publication du décret n° 2014-996 du 2 septembre 2014 modifiant la nomenclature des ICPE, certains établissements précédemment autorisés au titre du code de l'environnement par arrêté préfectoral pour la détention et l'utilisation de substances radioactives se trouvent désormais réglementés par l'ASN au titre du code de la santé publique. Les prescriptions applicables pour ces installations sont donc désormais celles du code de la santé publique. Cependant, l'article 4 du décret susvisé prévoit que l'autorisation ou la déclaration délivrée au titre de la rubrique 1715 continue à valoir autorisation ou déclaration au titre du code de la santé publique jusqu'à l'obtention d'une nouvelle autorisation au titre du code de la santé publique ou, à défaut, pour une durée maximale de cinq ans, soit au plus tard jusqu'au 4 septembre

2019. Tout changement ayant trait à l'autorisation doit préalablement faire l'objet, selon le cas, d'une information de l'ASN ou d'une nouvelle demande d'autorisation.

Seuls les établissements détenant des substances radioactives sous forme non scellée ou gérant des déchets radioactifs en quantité supérieure à 10 m³ pour l'une ou l'autre de ces activités sont soumis au régime des installations classées (hors secteur médical et accélérateurs de particules). Les éventuelles sources radioactives sous forme scellée également détenues ou utilisées par ces établissements sont réglementées par l'ASN au titre du code de la santé publique.

Les matières nucléaires font l'objet d'une réglementation spécifique prévue à l'article L. 1333-2 du code de la défense. L'application de cette réglementation est contrôlée par le ministre de la Défense pour les matières nucléaires destinées aux besoins de la défense et par le ministre chargé de l'énergie pour les matières destinées à tout autre usage.

4.2 Les autorisations et déclarations des sources

de rayonnements ionisants utilisées à des fins non médicales

4.2.1 La prise en compte des principes de radioprotection dans la réglementation des activités non médicales

En matière de radioprotection, l'ASN veille à l'application des trois grands principes de la radioprotection inscrits dans le code de la santé publique (article L. 1333-2) : la justification, l'optimisation des expositions et la limitation des doses (voir chapitre 2 et 3).



COMPRENDRE

Groupe de réflexion international sur les technologies alternatives

Les sources radioactives présentent, pour leurs utilisateurs comme pour le public et l'environnement, des enjeux de radioprotection et de sécurité qui doivent être pris en compte dès la phase de réflexion préalable à la mise en œuvre d'une activité nucléaire. Ainsi, en France, lorsque des technologies présentant des enjeux moindres qu'une activité nucléaire sont disponibles dans des conditions techniquement et économiquement acceptables, elles doivent être mises en œuvre en lieu et place de l'activité nucléaire initialement envisagée : c'est le principe de justification.

Sur cette base, la France, dès 2014 puis à l'occasion du sommet sur la sécurité nucléaire de Washington en avril 2016, a été à l'origine d'un engagement international pris par 29 États et par Interpol. L'objet est de soutenir la recherche et le développement de technologies n'utilisant pas de sources radioactives scellées de haute activité et de promouvoir leur mise en œuvre.

Dans ce cadre, depuis avril 2015, l'ASN est à l'origine, avec la *National Nuclear Security Administration* (États-Unis), d'un groupe de réflexion impliquant plusieurs États sur le thème de la substitution des sources radioactives de haute activité par des technologies alternatives.

L'ambition de ce groupe est, sous une forme non contraignante pour ses membres volontaires, de partager le retour d'expérience de chaque État en la matière. L'ASN y a notamment présenté, en application du principe de justification, les opérations menées par l'Établissement français du sang pour remplacer ses irradiateurs utilisant des sources radioactives par des irradiateurs électriques émettant des rayonnements X. L'ASN a également permis à la Confédération française pour les essais non destructifs de présenter l'avancement de ses travaux en matière de substitution de la gammagraphie par d'autres technologies de contrôles non destructifs. En décembre 2016, lors de la conférence internationale sur la sécurité nucléaire organisée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'ASN a eu l'opportunité de présenter les travaux du groupe de travail lors d'une table ronde intégralement dédiée à ce sujet.

Les réunions du groupe de réflexion se sont poursuivies en 2017. D'autres exploitants étrangers ont pu faire part de leur expérience. Ces réunions permettent de mettre en évidence des difficultés dans le développement ou la mise en œuvre de technologies alternatives qui devront faire l'objet de réflexions additionnelles et travaux complémentaires.

L'évaluation du bénéfice attendu d'une activité nucléaire et du détriment sanitaire associé peut conduire à interdire une activité pour laquelle le bénéfice apparaît insuffisant au regard du risque. Soit l'interdiction est prononcée de façon générique, soit l'autorisation requise au titre de la radioprotection n'est pas délivrée ou reconduite. Pour les activités existantes, une réévaluation de la justification est engagée lors des renouvellements d'autorisation si l'état des connaissances et des techniques le justifie.

L'optimisation est une notion qui doit être appréciée en fonction du contexte technique et économique et elle nécessite une forte implication des professionnels. L'ASN considère en particulier que les fournisseurs d'appareils sont au cœur de la démarche d'optimisation (voir point 3). En effet, ils sont responsables de la mise sur le marché des appareils et doivent donc concevoir ceux-ci de façon à réduire au minimum l'exposition des futurs utilisateurs. L'ASN contrôle également l'application du principe d'optimisation dans le cadre de l'instruction des dossiers d'autorisation, des inspections qu'elle réalise et lors de l'analyse des différents événements significatifs qui lui sont déclarés.

4.2.2 Les régimes d'autorisation et de déclaration applicables

Les demandes relatives à la détention et l'utilisation de rayonnements ionisants sont instruites par les divisions territoriales de l'ASN. L'instruction des demandes d'autorisation concernant la fabrication et la distribution de sources ou d'appareils en contenant est centralisée au niveau national. Comme indiqué dans le chapitre 3, qui décrit la réglementation applicable, la transposition en droit français de la directive européenne n° 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013 va notamment permettre de mettre en place un troisième régime administratif intermédiaire entre les régimes de la déclaration et de l'autorisation : il s'agit du régime de l'autorisation simplifiée, dit « régime d'enregistrement ». L'ASN prépare une nomenclature de répartition des différentes catégories d'activités nucléaires dans ces trois régimes, qui sera progressivement mise en œuvre à partir de 2018.

Cette évolution permettra à l'ASN de poursuivre la mise en place de sa démarche d'approche graduée, qui consiste à adapter les contraintes réglementaires et le niveau de contrôle aux risques présentés par l'activité nucléaire.

Le régime d'autorisation

Dans le cadre de cette démarche (voir *supra*), l'ASN a élaboré des formulaires de demandes d'autorisation adaptés à chaque activité et disponibles sur www.asn.fr.

Ces documents sont conçus pour que les demandes d'autorisation soient formulées par le représentant d'une personne morale comme le permet le code de la santé publique. Ils ouvrent cependant la possibilité, après justification, de demander une autorisation en tant que personne physique. Les formulaires précisent la liste des documents qui doivent être joints à la demande. L'ensemble des autres documents listés en annexe à la décision n° 2010-DC-0192 de l'ASN du 22 juillet 2010 doit bien sûr être en possession du demandeur et conservé à la disposition des inspecteurs en cas de contrôle. L'ASN est par ailleurs susceptible de demander des compléments dans le cadre de l'instruction de la demande d'autorisation.

Les activités du nucléaire de proximité se distinguent par leur grande hétérogénéité et le nombre important d'exploitants concernés. L'ASN doit donc adapter ses efforts à leurs enjeux de radioprotection pour les contrôler efficacement. La révision des régimes administratifs citée précédemment conduira à une révision progressive de ces formulaires.

Le régime déclaratif

Afin d'établir une meilleure adaptation du niveau des exigences réglementaires aux enjeux de radioprotection, l'ASN a introduit un régime de déclaration dans les domaines industriel, de recherche et vétérinaire en 2009. Cette démarche a abouti à la publication de plusieurs décisions homologuées (voir chapitre 3) définissant, d'une part, le champ d'application de ce régime, d'autre part, ses modalités de mise en œuvre.

Sont concernés :

- les appareils de radiodiagnostic vétérinaire utilisés exclusivement à poste fixe et répondant à l'une des conditions suivantes :
 - le faisceau d'émission est directionnel et vertical, à l'exclusion de l'ensemble des appareils de tomographie ;
 - l'appareil est utilisé à des fins de radiographie endobuccale (décision n° 2009-DC-0146 de l'ASN du 16 juillet 2009 modifiée) ;
- les appareils électriques émettant des rayonnements ionisants dont le débit d'équivalent de dose à 10 cm de toute surface accessible dans les conditions normales d'utilisation et du fait de leur conception est inférieur à 10 microsieverts par heure ($\mu\text{Sv/h}$).

Par décision n° 2015-DC-0531 de l'ASN du 10 novembre 2015, l'ASN a élargi le champ des activités soumises à déclaration à tous les utilisateurs et détenteurs de ces appareils afin d'intégrer sans ambiguïté dans le régime de déclaration toutes les activités d'utilisation de ces catégories d'appareils, à savoir la mise en service, le contrôle, la maintenance, la formation... pour autant que ces utilisations ne conduisent pas à modifier les dispositifs de sécurité ou le blindage de protection radiologique.

Le régime de déclaration s'applique également aux activités visant à l'installation, la maintenance ou la dépose des détecteurs de fumée à chambre d'ionisation (DFCI) (voir point 4.3).

Les formulaires de déclaration établis par l'ASN ont été conçus de façon à en simplifier l'utilisation et le traitement. Aucun document n'est à joindre au formulaire de déclaration. L'ASN envisage un élargissement du champ des activités soumises à déclaration et poursuit parallèlement l'ouverture de son portail de télédéclaration permettant de simplifier encore les démarches. Ce dispositif est d'ores et déjà en œuvre pour les déclarations des activités de transport (voir chapitre 11) et pour les activités médicales.

4.2.3 Les statistiques de l'année 2017

Les fournisseurs

Compte tenu du rôle fondamental tenu par les fournisseurs de sources ou d'appareils en contenant pour la radioprotection des futurs utilisateurs (voir points 3 et 4.2.1), l'ASN exerce un contrôle renforcé dans ce domaine. Au cours de l'année 2017, 62 demandes d'autorisation de distribution de sources ou de renouvellements d'autorisation ont été instruites par l'ASN et 41 inspections réalisées.

À NOTER

Le suivi des sources radioactives

Le code de la santé publique prévoit, dans ses articles R. 1333-47 à 49, l'enregistrement préalable par l'IRSN des mouvements de radionucléides sous forme de sources radioactives et dans son article R. 1333-50 le suivi de ces radionucléides.

La décision n° 2015-DC-0521 de l'ASN du 8 septembre 2015 relative au suivi et aux modalités d'enregistrement des radionucléides sous forme de sources radioactives et de produits ou dispositifs en contenant précise les modalités d'enregistrement des mouvements et les règles de suivi de radionucléides sous forme de sources radioactives.

Cette décision, applicable depuis le 1^{er} janvier 2016, prend en compte le fonctionnement existant et le complète notamment sur les points suivants en :

- graduant les actions de contrôle sur les sources en fonction de la dangerosité de celles-ci ;
- confirmant l'absence d'enregistrement pour les sources d'activité inférieure aux seuils d'exemption ;
- imposant des délais entre l'enregistrement des mouvements de sources et le mouvement lui-même ;
- imposant que chaque source soit accompagnée d'un document appelé « certificat de source » mentionnant toutes ses caractéristiques et qui doit être transmis à l'IRSN dans les deux mois suivant la réception de la source.

Les utilisateurs

Le cas des sources radioactives

En 2017, l'ASN a instruit et notifié 280 autorisations nouvelles, 942 renouvellements ou mises à jour et 235 annulations d'autorisation. Le graphique 5 présente les autorisations délivrées ou annulées en 2017 et l'évolution de ces données ces cinq dernières années.

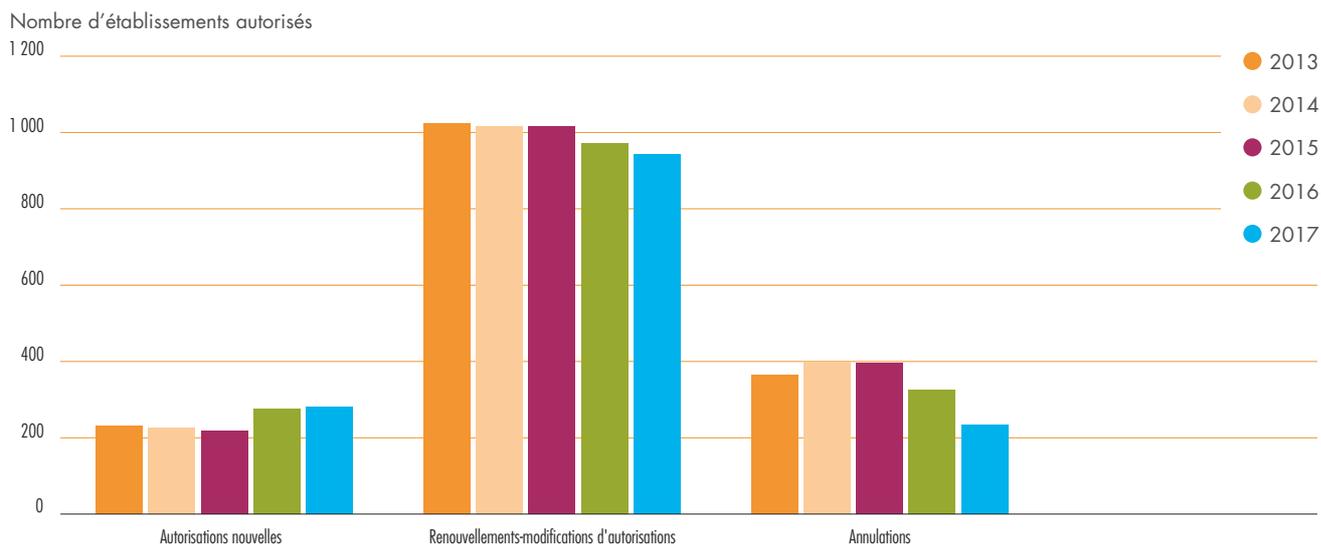
Une fois l'autorisation obtenue, le titulaire peut s'approvisionner en sources. Dans ce but, il reçoit de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) des formulaires de demande de fournitures permettant à l'institut de vérifier – dans le cadre de ses missions de tenue à jour de l'inventaire des sources de rayonnements ionisants – que les commandes se font conformément aux autorisations délivrées à l'utilisateur et à son fournisseur. Si tel est bien le cas, le mouvement est alors enregistré par l'IRSN, qui avise les intéressés que la livraison peut être réalisée. En cas de difficulté, le mouvement n'est pas validé et l'IRSN saisit l'ASN (voir encadré).

Le cas des générateurs électriques de rayonnements ionisants

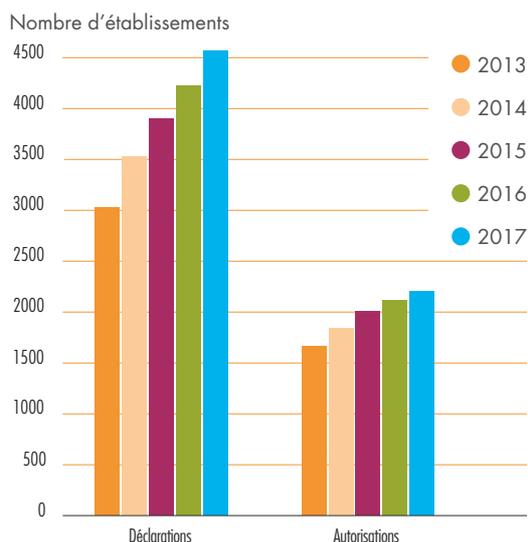
L'ASN a en charge le contrôle de ces appareils depuis 2002 et monte progressivement en puissance dans ce domaine où de nombreuses régularisations administratives sont nécessaires. Elle a accordé, en 2017, 146 autorisations et 319 renouvellements d'autorisation pour l'utilisation de générateurs électriques de rayonnements X. L'ASN a également délivré en 2017, 346 récépissés de déclaration pour des appareils électriques de rayonnements ionisants.

Au total, 2 199 autorisations et 4 570 récépissés de déclaration ont été délivrés pour des appareils électriques émettant des rayonnements ionisants depuis la parution du décret n° 2002-460. Le graphique 6 illustre cette évolution de ces dernières années.

GRAPHIQUE 5 : autorisations « utilisateur » de sources radioactives délivrées chaque année



GRAPHIQUE 6 : nombre total d'autorisations et de déclarations « utilisateur » d'appareils électriques générant des rayonnements



4.3 Les activités non justifiées ou interdites

4.3.1 L'application de l'interdiction d'addition intentionnelle de radionucléides dans les biens de consommation ou de construction

Le code de la santé publique indique notamment « *qu'est interdit tout ajout de radionucléides [...] dans les biens de consommation et les produits de construction* » (articles R. 1333-2 et 3). L'article R. 1333-4 du même code prévoit que des dérogations à ces interdictions peuvent, si elles sont justifiées par les avantages qu'elles procurent, être accordées par arrêté du ministre chargé de la santé et, selon le cas, du ministre chargé de la consommation ou du ministre chargé de la construction après avis de l'ASN et du Haut Conseil de la santé publique (voir chapitre 3).

Ainsi, le commerce d'accessoires contenant des sources de tritium tels que les montres, porte-clés, équipements de chasse (dispositifs de visée) ou de navigation (compas de relèvement) ou des équipements pour la pêche en rivière (détecteurs de touches) est notamment proscrit.

L'ASN estime que ce dispositif de dérogation réglementaire doit rester très limité. Il a été mis en œuvre pour la première fois en 2011 dans le cadre d'une demande de dérogation pour l'utilisation d'un appareil d'analyse neutronique dans plusieurs cimenteries (arrêté du 18 novembre 2011 des ministres chargés de la santé et de la construction, avis n° 2011-AV-0105 de l'ASN du 11 janvier 2011 et avis n° 2011-AV-0124 de l'ASN du 7 juillet 2011). Puis, il a été utilisé en 2014 dans le cas des ampoules contenant de très petites quantités de substances radioactives (krypton-85, thorium-232 ou tritium) et utilisées principalement pour des applications nécessitant de très haute intensité lumineuse comme dans les lieux publics ou les environnements professionnels ou encore pour certains véhicules (arrêté du 12 décembre 2014 des ministres chargés de la santé et de la construction, avis n° 2014-AV-0211 de l'ASN du 18 septembre 2014).

Un refus de dérogation a également été prononcé pour l'addition de radionucléides (tritium) dans certaines montres (arrêté

du 12 décembre 2014, avis n° 2014-AV-0210 de l'ASN du 18 septembre 2014).

La liste des biens de consommation et des produits de construction concernés par une demande de dérogation en cours ou pour lesquels une dérogation est accordée est publiée sur le site Internet du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.

En 2017, la dérogation pour l'utilisation d'un appareil d'analyse neutronique a été renouvelée pour dix ans pour trois cimenteries, la quatrième cimenterie visée par l'arrêté initial de 2011 ayant fermé (arrêté du 19 avril 2017 des ministres chargés de la santé et de la construction, avis n° 2017-AV-0292 de l'ASN du 7 mars 2017).

4.3.2 L'application du principe de justification pour les activités existantes

La justification des activités existantes doit être périodiquement réévaluée en fonction des connaissances et de l'évolution des techniques, en application du principe décrit au point 4.2.1. Lorsque les activités ne sont plus justifiées au regard du bénéfice apporté ou au regard d'autres technologies non ionisantes apportant un bénéfice comparable, elles doivent être retirées du marché. Suivant le contexte technique et économique, notamment lorsqu'une substitution de technologie est nécessaire, une période transitoire pour le retrait définitif du marché peut s'avérer nécessaire.

Les détecteurs de fumée contenant des sources radioactives

Des appareils contenant des sources radioactives sont utilisés depuis plusieurs décennies pour détecter la fumée dans les bâtiments, dans le cadre de la politique de lutte contre les incendies. Plusieurs types de radionucléides ont été employés (américium-241, plutonium-238, radium-226). L'activité des sources utilisées ne dépasse pas 37 kBq pour les plus récents d'entre eux et la structure de l'appareil empêche, en utilisation normale, toute propagation de substances radioactives dans l'environnement.

De nouvelles technologies non ionisantes sont venues progressivement concurrencer ces appareils. Des appareils optiques fournissent désormais une qualité de détection comparable, qui permet de répondre aux exigences réglementaires et normatives de détection incendie. L'ASN considère donc que les appareils de détection de fumée utilisant des sources radioactives ne sont plus justifiés et que les sept millions de détecteurs ioniques de fumée répartis sur 300 000 sites doivent être progressivement remplacés.

Le dispositif réglementaire encadrant ce retrait a été mis en place par l'arrêté du 18 novembre 2011 et deux décisions de l'ASN du 21 décembre 2011.

Ce dispositif réglementaire vise à :

- planifier sur dix ans les opérations de retrait ;
- encadrer les opérations de maintenance ou de retrait qui nécessitent le respect de certaines précautions en matière de radioprotection des travailleurs ;
- prévenir tout démontage incontrôlé et organiser les opérations de reprise afin d'éviter le choix d'une mauvaise filière d'élimination, voire l'abandon des détecteurs ;
- effectuer un suivi du parc de détecteurs.



Un détecteur de fumée.

Six ans après la mise en œuvre du nouveau dispositif réglementaire pour les activités de dépose et de maintenance des détecteurs de fumée ioniques, l'ASN a délivré, au 31 décembre 2017, 320 récépissés de déclaration et sept autorisations nationales (délivrées à des groupes industriels disposant au total de 104 agences) pour les activités de dépose des DFCl et de maintenance des systèmes de sécurité incendie. De plus, cinq entreprises sont autorisées à effectuer des opérations de démantèlement de détecteurs de fumée à chambre d'ionisation, garantissant ainsi une filière d'élimination pour tous les détecteurs existants.

En ce qui concerne le suivi du parc des détecteurs ioniques, l'IRSN a mis en place, en 2015, en collaboration avec l'ASN, un système informatique permettant aux professionnels intervenant sur une installation (mainteneurs, installateurs ou déposeurs) de télétransmettre des rapports annuels d'activité. Les informations transmises restent toutefois insuffisamment exhaustives pour permettre de dresser un bilan.

L'ASN entretient des relations étroites avec l'association Qualdion, créée en 2011, qui labellise les établissements respectant la réglementation relative à la radioprotection et celle relative à la sécurité incendie. La liste des entreprises labellisées Qualdion est disponible sur la page Internet de l'association¹. Elle participe avec elle à des campagnes de communication auprès des détenteurs de détecteurs ioniques et des professionnels (salon Expoprotection, Salon des maires...).

Les parasurtenseurs

Les parasurtenseurs (parfois appelés parafoudres), à ne pas confondre avec les paratonnerres, sont de petits objets, très faiblement radioactifs, utilisés pour protéger les lignes téléphoniques des surtensions en cas de foudre. Il s'agit de dispositifs étanches, souvent en verre ou céramique, enfermant un petit volume d'air contenant des radionucléides pour pré-ioniser l'air et faciliter l'amorçage. L'utilisation de ces objets a progressivement

été abandonnée depuis la fin des années 1970 mais le nombre de parasurtenseurs à déposer, collecter et éliminer reste très important (plusieurs millions d'unités). Ces appareils ne présentent pas, lorsqu'ils sont installés, de risques d'exposition pour les personnes. Un risque très faible d'exposition et/ou de contamination peut exister si ces objets sont manipulés sans précaution ou s'ils sont détériorés. L'ASN l'a rappelé à Orange (anciennement France Télécom), qui a engagé un processus expérimental de recensement, dépose, tri entreposage et élimination des parasurtenseurs dans la région Auvergne et a proposé un plan national de dépose et d'élimination. Ce plan a été présenté à l'ASN et a conduit à la délivrance, en septembre 2015, d'une autorisation encadrant le retrait de l'ensemble des parafoudres contenant des radionucléides présents sur le réseau d'Orange sur le territoire national et leur entreposage sur des sites identifiés. La recherche d'une filière d'élimination est en cours en collaboration avec l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra). Ce plan de retrait est mis en œuvre de manière progressive, avec un calendrier sur huit ans.

Les paratonnerres

Les paratonnerres radioactifs ont été fabriqués et installés en France entre 1932 et 1986. L'interdiction de la commercialisation des paratonnerres radioactifs a été prononcée en 1987. Le démontage des paratonnerres radioactifs déjà installés n'a pas été rendu obligatoire par cet arrêté. Aussi, hormis dans certaines ICPE (arrêté du 15 janvier 2008 qui fixait le retrait au 1^{er} janvier 2012) et dans certaines installations relevant du ministre de la Défense (arrêté du 1^{er} octobre 2007 qui fixait une date limite de retrait au 1^{er} janvier 2014), il n'y a pas à ce jour d'obligation de dépose des paratonnerres radioactifs installés sur le territoire français.

L'ASN souhaite cependant le retrait des paratonnerres radioactifs existants et leur prise en charge par l'Andra, compte tenu des risques qu'ils peuvent présenter, notamment en fonction de leur état physique. Elle sensibilise depuis plusieurs années les professionnels pour s'assurer que le retrait de ces objets se fasse en garantissant le respect de la radioprotection des travailleurs et du public. L'ASN a renforcé cette action en rappelant leurs obligations aux professionnels concernés, notamment



Un paratonnerre.

1. www.lne.fr/fr/certification/certification-label-qualdion

celle de disposer d'une autorisation de l'ASN pour l'activité de dépose et d'entreposage des paratonnerres, en application des articles L. 1333-1, L. 1333-4, R. 1333-17 du code de la santé publique. Des actions de contrôle sur le terrain vis-à-vis des sociétés impliquées dans la reprise de ces objets sont menées par l'ASN, et ont été renforcées avec des inspections inopinées sur les chantiers de dépose.

L'Andra estime à 40 000 le nombre de paratonnerres radioactifs qui ont été installés en France. Près de 10 000 ont déjà fait l'objet d'une dépose et d'une reprise par l'Andra. Le rythme annuel de dépose est d'environ 450 par an.

Des informations complémentaires sur les paratonnerres radioactifs sont disponibles sur www.andra.fr et le site de l'association Inaparad www.paratonnerres-radioactifs.com.

4.4 Le renforcement de la réglementation des appareils électriques générateurs de rayonnements ionisants

La décision n° 2017-DC-0591 de l'ASN du 13 juin 2017 fixant les règles techniques minimales de conception auxquelles doivent répondre les installations dans lesquelles sont utilisés des rayonnements X est entrée en vigueur le 1^{er} octobre 2017 (voir chapitre 3). Cette décision remplace la décision n° 2013-DC-0349 de l'ASN du 4 juin 2013 sans créer d'exigences supplémentaires pour les installations déjà conformes. Elle concerne des installations du domaine industriel et scientifique (recherche) comme la radiographie industrielle en casemate par rayonnements X, la radiologie vétérinaire. Elle prend en compte le retour d'expérience et fixe les objectifs à atteindre en termes de radioprotection en retenant une approche graduée au regard des risques.

Au niveau de la conception des appareils, l'ASN souhaite compléter les dispositions introduites en 2007 dans le code de la santé publique et achever ainsi l'élaboration du cadre réglementaire permettant de soumettre à autorisation la distribution des appareils électriques générateurs de rayonnements ionisants, au même titre que les fournisseurs de sources radioactives. Sur ce point, l'expérience montre qu'une instruction technique de dossier entre l'ASN et les fournisseurs/fabricants d'appareils apporte des gains substantiels en matière d'optimisation de la radioprotection (voir points 3 et 4.2.1).

Il n'existe pas, pour les appareils électriques utilisés à des fins non médicales, d'équivalent au marquage CE obligatoire pour les dispositifs médicaux, attestant de la conformité à plusieurs normes européennes qui couvrent divers aspects, dont la radioprotection. Par ailleurs, le retour d'expérience montre qu'un grand nombre d'appareils ne disposent pas d'un certificat de conformité aux normes applicables en France. Ces normes sont obligatoires depuis de nombreuses années mais certaines de leurs exigences sont devenues en partie obsolètes ou inapplicables du fait de l'absence de révisions récentes.

Sur la base des travaux réalisés en collaboration avec le Laboratoire central des industries électriques (LCIE), le CEA et l'IRSN, des projets visant à définir les exigences minimales de radioprotection pour la conception des appareils électriques générant des rayonnements X ont été élaborés et une consultation technique informelle des parties prenantes (fournisseurs, fabricants français et étrangers, principaux utilisateurs) a été conduite en 2015.

L'analyse des différentes contributions est en cours, avec l'appui de l'IRSN et des différents acteurs de référence (CEA et LCIE). Les conclusions de ces travaux seront prises en compte dans la définition des nouveaux régimes cités au paragraphe 4.2.2 afin de créer un nouveau cadre réglementaire pour la distribution des appareils électriques générateurs de rayonnements ionisants.

4.5 La mise en place d'un contrôle de la protection des sources radioactives contre les actes de malveillance

Si les mesures de sûreté et de radioprotection auxquelles conduit la réglementation permettent de garantir un certain niveau de protection face au risque d'actes malveillants, elles ne peuvent être considérées comme suffisantes pour toutes les sources. Un renforcement du contrôle de la protection contre les actes de malveillance utilisant des sources radioactives scellées dangereuses a donc été vivement encouragé par l'AIEA, qui a publié dans ce domaine un code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives (approuvé par le Conseil des gouverneurs le 8 septembre 2003) ainsi que des orientations pour l'importation et l'exportation de sources radioactives (publiées en 2005). Le G8 a soutenu cette démarche, notamment lors du sommet d'Évian (juin 2003), et la France a confirmé à l'AIEA qu'elle travaillait en vue de l'application des orientations énoncées dans le code de conduite (engagements du Gouverneur pour la France du 7 janvier 2004 et du 19 décembre 2012). L'objectif général du code est d'obtenir un niveau élevé de sûreté et de sécurité des sources radioactives qui peuvent présenter un risque important pour les personnes, la société et l'environnement.

4.5.1 L'organisation retenue pour le contrôle de la sécurité des sources

Le contrôle des sources à des fins de radioprotection et de sûreté et celui à des fins de lutte contre les actes de malveillance présentent de nombreuses interfaces et des objectifs cohérents. C'est la raison pour laquelle les homologues de l'ASN à l'étranger sont en général chargés de contrôler les deux domaines. L'ASN dispose pour ce faire d'une solide connaissance de terrain des sources concernées et des responsables d'activités nucléaires, que ses divisions territoriales inspectent régulièrement.

La France peut également s'appuyer sur un système de protection contre les actes de malveillance existant pour les matières nucléaires mis en œuvre par les services du Haut Fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère en charge de l'énergie.

Le Gouvernement a donc décidé de mettre en place une organisation du contrôle de la protection des sources de rayonnements ionisants contre les actes de malveillance (ci-après appelé contrôle de la sécurité des sources) qui tient compte des dispositifs de contrôle préexistants en confiant :

- aux services du Haut Fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère en charge de l'énergie le contrôle de la sécurité des sources dans les installations dont la sécurité relève déjà de leur contrôle ;
- à l'ASN le contrôle de la sécurité des sources détenues par les autres responsables d'activités nucléaires.

Le processus législatif nécessaire à la mise en place de ce contrôle, engagé en 2008 par le Gouvernement avec le concours de l'ASN, a abouti à l'ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016, qui

répartit les compétences de contrôle dans les diverses installations, en incluant la protection contre les actes de malveillance dans les préoccupations que doivent prendre en compte les responsables d'activités nucléaires et les services instructeurs des demandes d'autorisation.

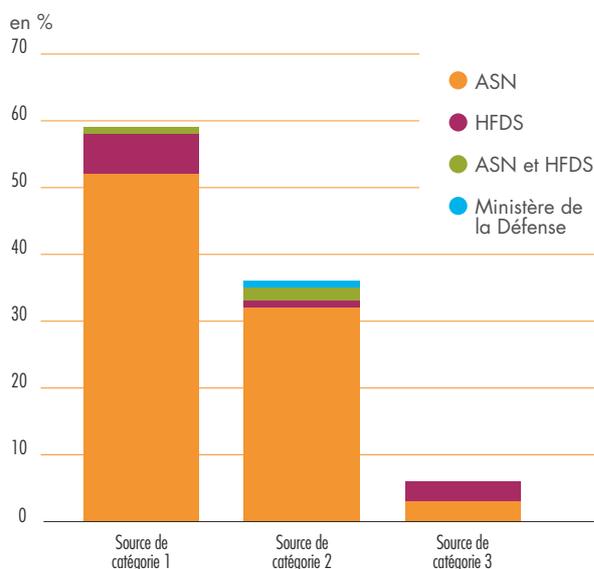
4.5.2 Les sources et installations concernées

Le contrôle de la sécurité des sources portera sur l'ensemble des sources de rayonnements ionisants. Des prescriptions réglementaires supplémentaires seront cependant prises pour renforcer la sécurité des sources présentant les plus forts enjeux de sécurité. Il s'agit notamment des sources radioactives scellées de catégorie 1, 2 et 3 au sens de la catégorisation de l'AIEA.

On dénombre, dans le secteur civil, environ 4 000 sources présentant de tels enjeux de sécurité réparties dans quelque 250 installations en France. Ces sources sont détenues essentiellement à des fins d'irradiation industrielle, de téléthérapie, de radiographie industrielle et de curiethérapie. Les sources de radiographie industrielle, du fait de leur utilisation fréquente sur chantiers, présentent des enjeux particuliers de sécurité lors de leur transport.

Comme expliqué au paragraphe 4.6.1, le contrôle de la sécurité de ces sources sera essentiellement assuré par l'ASN.

GRAPHIQUE 7 : répartition du contrôle de la protection des sources contre les actes de malveillance



Les sources ne relevant pas des catégories 1, 2 ou 3 mais qui présentent des enjeux de sécurité identiques, par exemple du fait de leur regroupement lors des périodes d'entreposage avec d'autres sources, pourront également faire l'objet de dispositions de sécurité renforcées.

4.5.3 Un premier repérage des conditions de sécurité des sources scellées de haute activité

L'ASN a poursuivi ses actions de repérage de l'état des lieux en matière de sécurité des sources scellées de haute activité ou présentant des enjeux de sécurité équivalents actuellement détenues dans les installations existantes. Ce repérage a conduit à la



COMPRENDRE

Catégorisation des sources radioactives

Les sources radioactives sont classées par l'AIEA, sur la base de scénarios d'exposition définis, en cinq catégories, de 1 à 5, en fonction de leur capacité à créer des effets néfastes précoces sur la santé humaine si elles ne sont pas gérées d'une manière sûre et sécurisée. Les sources de la catégorie 1 sont considérées comme extrêmement dangereuses et celles de la catégorie 5 comme très peu susceptibles d'être dangereuses. Les sources de catégorie 1 à 3 sont considérées, à des degrés divers, comme dangereuses pour les personnes.

Cette catégorisation se base uniquement sur la capacité des sources à créer des effets déterministes dans certains scénarios d'exposition et ne doit donc en aucun cas être considérée comme la justification d'une absence de danger pour une exposition à une source de catégorie 4 ou 5, une telle exposition pouvant être à l'origine d'effets stochastiques à plus long terme. Dans tous les cas, les principes de justification et d'optimisation doivent donc être respectés.

réalisation d'environ 350 visites de la part de l'ASN. À ce jour, la quasi-totalité des exploitants détenant des sources scellées de haute activité qui seront contrôlés par l'ASN au titre de la protection des sources contre les actes de malveillance ont fait l'objet d'une telle visite.

L'ASN a réalisé une synthèse des informations collectées pendant ces visites, qui a notamment permis d'alimenter les travaux d'élaboration des futures prescriptions réglementaires pilotés par le Haut Fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère en charge de l'énergie et d'étudier l'impact de ces prescriptions (voir paragraphe suivant).

4.5.4 Les travaux réglementaires

Le groupe de travail piloté par le Haut Fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère chargé de l'environnement a poursuivi en 2017 ses travaux d'élaboration des projets de textes réglementaires portant sur la sécurité des sources :

- en intégrant au décret en préparation modifiant le code de la santé publique (voir chapitre 3), pris en application de l'ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016, les dispositions nécessaires à la mise en œuvre du contrôle de la protection des sources contre les actes de malveillance. En particulier, dès sa mise en application, certains responsables d'activité nucléaire devront catégoriser leurs sources en fonction des enjeux de sécurité qu'elles présentent et établir une liste des personnes qui seront autorisées à accéder aux sources les plus dangereuses, à les convoquer et à accéder aux informations relatives à leur protection contre les actes de malveillance ;
- en préparant un projet d'arrêté ministériel visant à fixer des prescriptions techniques et organisationnelles que les responsables d'activités nucléaires devront mettre en œuvre pour protéger leurs sources contre des actes de malveillance. Cet arrêté, dont la publication est prévue en 2018, devrait entrer en vigueur de manière progressive. Les prescriptions visent notamment, sur la base d'une approche graduée aux enjeux de sécurité, à limiter l'accès aux sources

à des personnes dûment autorisées, à interposer une ou plusieurs barrières de protection physique entre les sources et les personnes non autorisées à y accéder, à rendre obligatoires des dispositifs de détection des intrusions ou à assurer le suivi de ces sources. Des industriels et parties prenantes ont été conviés à participer à une partie de ces travaux pour faire part de leurs remarques et observations sur les orientations proposées.

Comme indiqué précédemment, l'ASN, par sa connaissance des sources et installations, a activement pris part aux travaux d'élaboration de cette réglementation. Elle sera consultée, en 2018, sur le projet d'arrêté ministériel portant sur la sécurité des sources.

5. Les principaux incidents en 2017

Les contrôles appliqués aux sources de rayonnements et le bilan complet des événements de radioprotection dont l'ASN a eu connaissance dans le domaine du nucléaire de proximité sont présentés dans le chapitre 4 de ce présent rapport.

La radiographie industrielle

Plusieurs incidents impliquant les activités de radiographie industrielle sont déclarés à l'ASN chaque année. Comme en 2016 et contrairement aux années précédentes, aucun incident n'a été classé au niveau 2 de l'échelle INES en 2017.

Le graphique 8 illustre l'évolution des incidents déclarés ces dernières années. Le graphique 9 permet d'identifier les facteurs mis en cause lors de ces incidents.

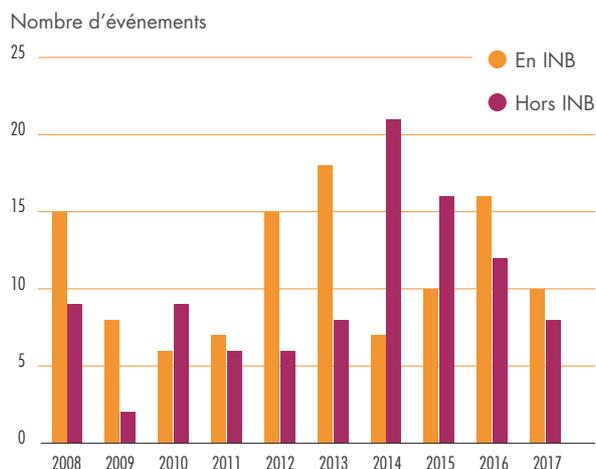
L'analyse des événements confirme que le balisage est une étape clef dans la préparation et la conduite des chantiers de gammagraphie.

Le retour d'expérience montre également que la bonne vérification de la position de sécurité de la source est essentielle pour maîtriser les conséquences dosimétriques de cette activité. Pour cela, les opérateurs disposent de différents moyens complémentaires qui constituent les barrières de sécurité (voyants de l'appareil, mesure au radiamètre...).

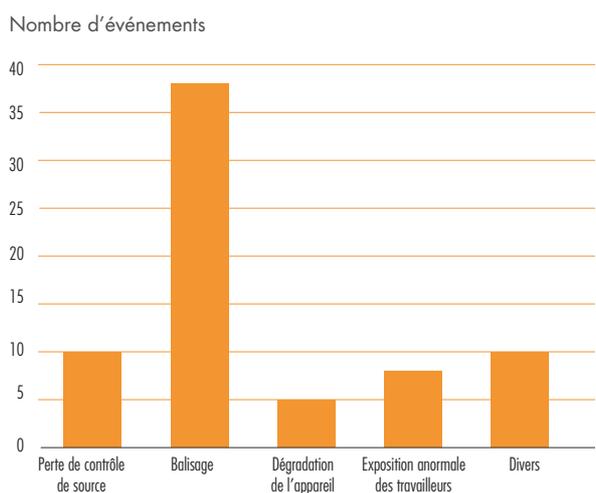
L'incident le plus remarquable de l'année 2017 concerne l'exposition anormale de deux opérateurs qui sont intervenus dans la zone d'opération pour procéder aux changements des films alors que la source n'avait pas été remise en position de sécurité. Les dosimètres passifs des opérateurs ont enregistré des doses efficaces de 9 et 3 mSv, ce qui correspond, pour l'un des opérateurs, à un dépassement en une seule opération de plus d'un quart de la limite de dose individuelle annuelle réglementaire (20 mSv).

L'analyse menée par l'exploitant et l'ASN a identifié de nombreuses défaillances dans l'organisation de la radioprotection, notamment l'absence de balise lumineuse signalant l'émission de rayonnements ionisants, le non-port du dosimètre opérationnel et l'absence d'un opérateur titulaire du Certificat d'aptitude à manipuler les appareils de radiologie industrielle.

GRAPHIQUE 8 : évolution du nombre d'événements déclarés à l'ASN en radiographie industrielle



GRAPHIQUE 9 : principales causes des événements déclarés en radiographie industrielle à l'ASN sur la période 2015-2017



- Perte de contrôle de source : situation où la source ne peut revenir normalement en position de sécurité à l'intérieur de l'appareil.
- Balisage : balisage insuffisant ou mal dimensionné, intrusion, volontaire ou non, à l'intérieur de ce balisage.
- Dégradation de l'appareil : situation où l'appareil de gammagraphie est dégradé (par exemple : chute de l'appareil)
- Exposition anormale des travailleurs : situations pour lesquelles l'exposition des travailleurs n'est pas conforme avec l'analyse de poste (par exemple : exposition d'un radiologue lorsque la source n'est pas en position de sécurité).

Une série d'incidents répertoriée en 2014 dont l'origine était la rupture du doigt obturateur sur les appareils de type GAM 80/120 avait conduit l'ASN à demander au fournisseur la mise en place d'actions préventives dans le cadre de la maintenance annuelle des appareils. Depuis 2015, un seul événement de ce type a été déclaré, en 2016, à l'ASN.

D'autres incidents de blocage de sources ont été signalés ayant pour origine des défaillances telles que le non-raccordement des gaines ou câbles de télécommande ou des gaines d'éjection. Ces incidents ont été correctement gérés par les



COMPRENDRE

Gammagraphie

Des accidents graves à l'étranger

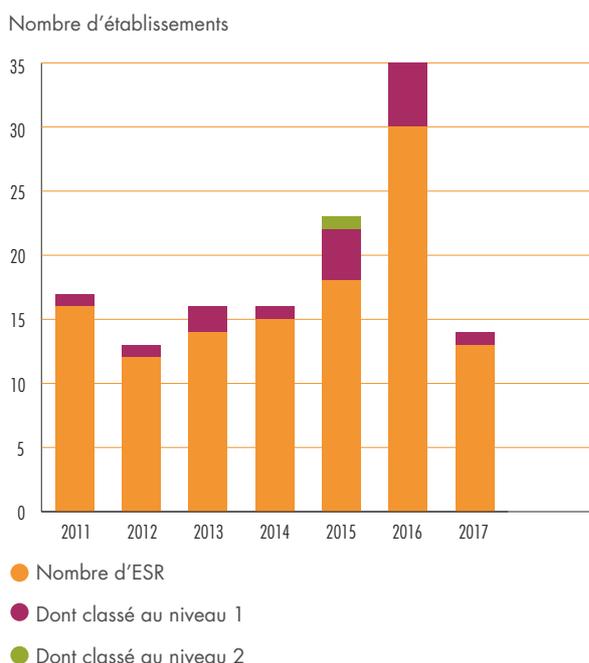
Les accidents en gammagraphie en France restent limités en nombre et en conséquence depuis mars 1979 où un accident avait conduit à l'amputation de la jambe d'un ouvrier qui avait ramassé et mis dans sa poche une source d'iridium-192 de 518 GBq. Cet incident avait entraîné un renforcement de la réglementation en vigueur à l'époque. L'ASN exerce une veille sur les accidents survenus à l'étranger qui ont eu des effets déterministes majeurs. Parmi les exemples récents dont l'ASN a eu connaissance :

- en 2016, en Turquie, après l'utilisation d'un appareil de gammagraphie, il semble que les opérateurs n'aient pas vérifié le bon retour de la source en position de sécurité. Un adolescent de 16 ans a trouvé la source le lendemain du contrôle et l'a conservée jusqu'à son domicile où plusieurs personnes ont indiqué l'avoir manipulée. Au total, 20 personnes auraient été exposées, la personne la plus exposée aurait reçu 1 gray (Gy). L'événement a été classé au niveau 2 de l'échelle INES ;
- en 2015, en Iran, deux opérateurs ont été exposés à des doses efficaces respectives de 1,6 et 3,4 Gy. La source du gammagraphe (iridium-192 de 1,3 TBq) s'est décrochée et est restée bloquée dans la gaine d'éjection sans qu'ils s'en aperçoivent. Les opérateurs ont ensuite passé la nuit dans leur véhicule à proximité de la gaine d'éjection et de la source ;
- en 2014, au Pérou, un employé a été exposé à 500 mSv (corps entier) et 25 Gy sur la hanche gauche en déplaçant une gaine d'éjection et un collimateur sans s'être aperçu que la source était décrochée

du câble de télécommande et était restée dans le collimateur (iridium-192, 1,2 TBq, 30 minutes d'exposition) ;

- en 2013, en Allemagne, un employé d'une société de contrôle non destructif a été exposé à plus de 75 mSv (corps entier) et 10 à 30 Gy aux extrémités (mains) en essayant de débloquer une source dans une gaine d'éjection ;
- en 2012, un employé péruvien a été admis à l'hôpital Percy, à Clamart, à la suite d'une exposition de 1 à 2 Gy (corps entier) et 35 Gy à la main (70 Gy au bout des doigts) après avoir manipulé à mains nues une gaine d'éjection sans s'assurer de la position de la source. Le radiologue industriel a été partiellement amputé des doigts de la main gauche ;
- en 2011, cinq travailleurs bulgares ont été admis à l'hôpital Percy, à Clamart, pour mise en œuvre de traitements lourds à la suite d'irradiations de l'ordre de 2 à 3 Gy dues à une erreur de manipulation d'un appareil de gammagraphie qu'ils pensaient déchargé de sa source ;
- en 2011, aux États-Unis, un apprenti radiologue a décroché la gaine d'éjection et s'est aperçu que la source dépassait du projecteur. Il a essayé de repousser la source dans l'appareil avec son doigt. L'estimation de la dose reçue aux extrémités est de 38 Gy.

GRAPHIQUE 10 : évolution du nombre d'événements déclarés à l'ASN dans le secteur de la recherche



opérateurs et les responsables des entreprises concernées et ont été résolus rapidement. Bien que la réglementation française soit globalement respectée et plus exigeante que les standards internationaux, l'ASN considère que des améliorations doivent être apportées à la préparation des chantiers et à la gestion des incidents.

Les activités de recherche

Dans ce domaine, l'ASN note que le suivi et la déclaration des événements restent peu systématiques. Parmi les structures ayant fait l'objet d'une inspection, près d'une sur deux ne dispose pas de procédures relatives à la gestion des événements significatifs. En 2017, l'ASN a enregistré 15 événements significatifs pour la radioprotection concernant les activités de recherche, soit moitié moins qu'en 2016, ce qui correspond aux tendances de déclaration constatées des années 2011 à 2014.

Les événements significatifs déclarés sont principalement de trois types :

- le vol ou la perte de sources radioactives (29%) ;
- la découverte de sources (43 %) ;
- la détection de cas de contamination pouvant entraîner parfois une contamination des travailleurs (44 %).

La prédominance de ces thématiques correspond aux constats déjà dressés sur la période 2014-2016. Les pertes et découvertes



COMPRENDRE

La perte de contrôle de la source en gammagraphie

La gammagraphie est une technique de contrôle non destructif consistant à positionner une source radioactive à proximité de l'élément à contrôler, de façon à obtenir un film radiographique permettant ensuite, par lecture du film, un contrôle de qualité de la pièce.

La perte de contrôle de la source est l'une des principales causes d'accidents dans ce domaine. Elle peut conduire à de fortes expositions des travailleurs se trouvant à proximité, voire du public en cas de travaux en zone urbaine. Cette perte de contrôle se rencontre principalement dans deux situations :

- la source radioactive reste bloquée dans la gaine d'éjection. L'origine du blocage est souvent liée à la présence de corps étrangers dans la gaine ou à une dégradation de la gaine ;

- le porte-source contenant le radionucléide n'est plus solidaire de la télécommande. Le câble reliant source et télécommande n'est pas correctement raccordé et la source ne peut plus être manœuvrée.

En France, les gammagraphes répondent à des prescriptions techniques plus strictes que les standards internationaux. Toutefois, les défaillances de matériel ne peuvent pas être écartées, notamment en cas de mauvais entretien des appareils. De mauvaises manipulations sont également souvent observées à la suite d'incidents de blocage de sources.

En particulier, l'ASN note que les procédures et gestes à suivre par les radiologues confrontés à ces situations ne sont pas suffisamment connus et respectés.

de sources s'expliquent notamment par une mauvaise traçabilité générale : absence d'actions visant à leur élimination au moment de la cessation d'activités des laboratoires dans le passé, inventaires irréguliers et non exhaustifs.

La détection de la présence de contamination, à l'origine de plusieurs événements significatifs, est due à la forme des sources utilisées dans ce secteur, majoritairement des sources sous forme non scellées, pour laquelle une contamination ne peut être complètement exclue, ainsi qu'à de mauvaises pratiques de manipulation de ces sources. En 2017, les doses individuelles engagées lors de ces événements n'ont cependant pas excédé 150 µSv.

6. L'appréciation sur la radioprotection dans les domaines industriel, de recherche et vétérinaire, et les perspectives

Dans le domaine du contrôle des applications des rayonnements ionisants dans le secteur industriel, de la recherche et vétérinaire, l'ASN œuvre pour que les opérateurs prennent pleinement en compte les risques liés à l'utilisation des rayonnements ionisants.

La radiographie industrielle

Les activités de radiologie industrielle sont des activités à forts enjeux de radioprotection pour les travailleurs et constituent une priorité d'inspection pour l'ASN, avec près de 100 inspections réalisées par an dans ce domaine, y compris des inspections inopinées de nuit sur chantiers. Le système de télédéclaration des plannings de chantier pour les entreprises prestataires en radiographie industrielle, mis en place par l'ASN en 2014, permet de faciliter l'organisation de ces contrôles. Un manque de fiabilité des informations transmises a cependant été constaté pour certains prestataires.

Au travers de ses inspections, l'ASN juge que la prise en compte des risques est contrastée suivant les entreprises. La réglementation est globalement respectée en matière de formation des

intervenants, de contrôle externe périodique des sources et appareils et de dosimétrie des travailleurs. En revanche, la préparation des interventions, notamment sur chantier pour la délimitation du zonage, et les évaluations prévisionnelles de dose restent insuffisantes malgré les progrès réalisés. Pour remédier à ces difficultés, la coordination entre donneurs d'ordre et prestataires pour mettre en œuvre des mesures de prévention efficaces doit être renforcée par les différents intervenants. L'ASN juge préoccupants les défauts observés en matière de zonage car celui-ci constitue la principale barrière de sécurité en configuration de chantier, en particulier pour prévenir les expositions incidentelles.

Les conditions d'opération sur chantier (accès difficile, travail nocturne...), l'entretien du matériel (projecteurs, gaines...) sont des paramètres majeurs pour la sécurité des personnes. Les incidents ont souvent pour origine des sources bloquées en dehors de leur position de sécurité. L'ASN note que les cadences de tirs et l'état du matériel ne sont pas sans lien avec la probabilité d'incident. Elle rappelle par ailleurs que toute anomalie constatée lors de l'utilisation d'un gammagraphe, notamment des efforts anormaux lors de l'éjection ou de retour de la source, devrait conduire à un arrêt immédiat des opérations et à un contrôle du matériel (voir paragraphe relatif aux incidents). Par ailleurs, toute tentative de dépannage improvisé après un blocage de source devrait être proscrite. Un blocage de source doit conduire à la mise en œuvre des plans d'urgence internes, qui sont imposés par la réglementation mais rarement établis par les entreprises.

Pour l'application des principes de justification et d'optimisation, les réflexions engagées par les professionnels du contrôle non destructif ont abouti à l'élaboration de guides ayant pour but de promouvoir l'utilisation de méthodes de substitution à la radiographie industrielle. Les travaux se poursuivent au sein des instances professionnelles, en particulier par l'évolution des codes de construction et de maintenance des équipements industriels, afin de privilégier l'utilisation de méthodes de contrôle non ionisantes.

L'ASN estime que les donneurs d'ordre ont un rôle primordial à jouer pour faire progresser la radioprotection dans le domaine de la radiographie industrielle. La sensibilisation de l'ensemble

des acteurs est donc une priorité d'action. Les démarches régionales visant à établir des chartes de bonnes pratiques en radiographie industrielle, mises en œuvre depuis plusieurs années sous l'impulsion de l'ASN et de l'inspection du travail, notamment dans les territoires correspondant aux anciennes régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Haute-Normandie, Rhône-Alpes, Nord-Pas-de-Calais, Bretagne et Pays de la Loire, permettent des échanges réguliers entre les différents acteurs. Les divisions de l'ASN et les autres administrations régionales concernées organisent également des colloques de sensibilisation et d'échange au niveau régional pour lesquels les acteurs de cette branche professionnelle manifestent un intérêt croissant.

Depuis les incidents notables survenus au début des années 2010 concernant des blocages de sources de gammagraphie industrielle, une réflexion a été menée avec les parties prenantes et l'IRSN pour définir, à partir du retour d'expérience, des scénarios types de pertes de contrôle de sources, élaborer des solutions techniques de récupération et définir les bonnes pratiques en cas d'incident de perte de contrôle. Des solutions techniques génériques permettant de faciliter la récupération des sources de gammagraphie dont le contrôle aurait été perdu (voir encadré) ont été identifiées. Plusieurs outils spécifiques ont été conçus et mis en œuvre par le fournisseur à cette fin.

D'après l'enquête menée par l'ASN dans le secteur, 70 % des agences de radiographie industrielle disposent d'une installation fixe spécialisée (casemates) et 70 % des agences travaillent également en configuration dite « de chantier ». Cinquante pour cent des tirs réalisés en radiographie industrielle sont effectués en configuration de chantier. Dans cette configuration, les gammagraphes à l'iridium-192 sont les plus utilisés puisqu'ils concernent les deux tiers des chantiers. Les générateurs X sont utilisés principalement sur les autres chantiers. Très peu de tirs sont menés hors casemate avec des accélérateurs de particules, ou des gammagraphes au cobalt-60 ou au sélénium-75. Au global, un tir sur trois est effectué avec de l'iridium-192 en configuration de chantier. Les lieux de ces chantiers sont principalement les ateliers et procédés industriels ainsi que les INB.

La part importante de tirs réalisés en configuration de « chantiers » au sein d'ateliers industriels suggère une application insuffisante du principe de justification car certaines pièces auraient vraisemblablement pu être contrôlées en casemate sécurisée dans de nombreux cas.

Les démarches engagées en 2016 par l'ASN avec la Direction générale du travail (DGT) pour une refonte des textes réglementaires existants, avec un renforcement des exigences dans le domaine de la justification, seront poursuivies en 2018, après publication des décrets modifiant le code du travail et le code de la santé publique et transposant la directive BSS (voir chapitre 3).

Les établissements de recherche

Dans le secteur de la recherche, l'ASN dénombre environ 680 autorisations délivrées au titre du code de la santé public. Ces établissements et laboratoires utilisent majoritairement des sources non scellées de rayonnements pour la recherche médicale et biomédicale, la biologie moléculaire, l'agroalimentaire, les sciences de la matière et des matériaux... Ils utilisent par ailleurs des sources scellées pour la réalisation de chromatographies en phase gazeuse, de comptages par scintillation ou dans des irradiateurs. Des générateurs électriques émettant des rayons X sont aussi utilisés pour des analyses de spectre par fluorescence X ou par diffraction X. Les accélérateurs de particules, quant à eux, sont utilisés pour des recherches sur la matière ou pour la fabrication des radionucléides.

Chaque année l'ASN procède en moyenne à 60 inspections. De manière générale, il en ressort que les actions engagées depuis quelques années ont permis des améliorations dans la prise en compte de la radioprotection au sein des laboratoires de recherche et la prise de conscience globale des enjeux de radioprotection. Les améliorations les plus marquantes concernent l'implication de la personne compétente en radioprotection (PCR) et les conditions d'entreposage des déchets et effluents.

L'ASN note par contre que près d'une structure sur deux ne dispose pas de procédures relatives à la déclaration et à la gestion des événements significatifs.

Les difficultés techniques, économiques et réglementaires concernant l'élimination d'anciennes sources scellées sont souvent relevées par les exploitants. Les travaux du groupe de travail, créé spécifiquement sur cette question dans le cadre du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs 2012-2015, ont conduit à une modification réglementaire (décret n° 2015-231 du 27 février 2015 relatif à la gestion des sources radioactives scellées usagées) qui est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2015. Cette modification, qui a pour objectif de faciliter l'élimination des sources scellées, ouvre la possibilité aux détenteurs de



COMPRENDRE

Les activités de recherche

L'utilisation de rayonnements ionisants dans les activités de recherche s'étend dans les différents domaines que sont la recherche médicale, la biologie moléculaire, l'agroalimentaire, la caractérisation de matériaux... Elle s'exerce en majorité par l'emploi de sources non scellées (iode-125, phosphore-32, phosphore-33, soufre-35, tritium-3, carbone-14...). Des sources scellées (barium-133, nickel-63, césium-137, cobalt-60...) sont également utilisées dans des chromatographes en phase gazeuse ou des compteurs à scintillation ou, avec des sources de plus fortes activités, dans des irradiateurs. Des générateurs électriques émettant

des rayons X servent à des analyses de spectre par fluorescence X ou par diffraction X. Par ailleurs, on note l'existence de scanners pour petits animaux (recherche en cancérologie) dans des laboratoires de recherche et de facultés de médecine. Les accélérateurs de particules, quant à eux, sont utilisés pour des recherches sur la matière ou pour la fabrication des radionucléides.

Le nombre d'autorisations délivrées par l'ASN dans le secteur de la recherche se stabilise autour de 800. Chaque année, l'ASN mène en moyenne 50 à 60 inspections dans ce secteur.

sources de rechercher différentes filières d'élimination auprès des fournisseurs de sources ou de l'Andra, sans imposer la restitution de la source au fournisseur d'origine.

L'ASN poursuit sa collaboration avec l'Inspection générale de l'administration de l'éducation nationale et de la recherche. Une convention, signée en 2014, formalise les échanges sur les pratiques d'inspection et la mise en place de modalités d'informations réciproques permettant d'améliorer l'efficacité et la complémentarité des inspections. Une rencontre annuelle permet de faire le point sur le fonctionnement de cette collaboration.

Les vétérinaires

Depuis maintenant plusieurs années, la situation administrative des structures vétérinaires est en constante amélioration. Fin 2017, l'ASN dénombre près de 4391 structures déclarées ou autorisées sur environ 5000 structures vétérinaires identifiées comme mettant en œuvre des rayonnements ionisants sur le territoire.

Parmi les activités vétérinaires, celles réalisées sur les grands animaux (majoritairement des chevaux) et à l'extérieur des établissements vétérinaires spécialisés (dites « en conditions de chantier »), sont jugées comme celles comportant le plus d'enjeux de radioprotection, notamment par rapport aux personnes extérieures à la structure vétérinaire qui participent à ces interventions. Les inspections réalisées par l'ASN sur ces structures vétérinaires ont permis d'identifier des axes d'amélioration sur lesquels l'ASN reste vigilante lors de l'instruction des demandes d'autorisation et des inspections :

- le suivi des travailleurs par dosimétrie opérationnelle et les contrôles internes de radioprotection ;
- la mise en place du zonage radiologique ;
- la nécessité de renforcer la radioprotection des personnes extérieures à l'établissement vétérinaire qui participent aux diagnostics radiologiques.

Le résultat des efforts menés par les instances vétérinaires depuis plusieurs années pour se conformer à la réglementation a pu être constaté par les inspecteurs qui ont relevé de bonnes pratiques de terrain dans les structures inspectées, notamment :

- la présence de PCR internes dans la plupart des structures ;
- l'utilisation quasi-systématique d'équipements de protection individuelle ;
- une démarche d'optimisation des conditions de réalisation des diagnostics menée dans presque toutes les structures.

La forte implication de la profession à l'échelle nationale pour harmoniser les pratiques, sensibiliser et former des élèves vétérinaires, élaborer des documents cadres et des guides est un élément jugé très positif par l'ASN, qui participe chaque année à des rencontres avec les instances nationales de la profession (et plus particulièrement la Commission de radioprotection vétérinaire) en collaboration avec la DGT.

Les activités de radiologie conventionnelle réalisées sur des animaux de compagnie (activités dites « canines ») comportent de plus faibles enjeux de radioprotection mais représentent un nombre très important d'établissements. Dans le cadre de sa démarche graduée, qui consiste à adapter les modalités de contrôle aux enjeux de radioprotection, l'ASN a mené en 2015 et 2016 une campagne de contrôle expérimentale qui faisait appel à des modes de contrôle dématérialisés. La campagne a eu lieu

dans sept départements (Aisne, Allier, Aube, Cantal, Haute-Loire, Pas-de-Calais et Puy-de-Dôme). Cette expérimentation, menée en étroite collaboration avec le Conseil supérieur de l'ordre vétérinaire, est jugée positivement par l'ASN qui étudiera l'opportunité de reconduire ce type de contrôle dans d'autres domaines ou d'autres régions dans les prochaines années.

Les fournisseurs de sources de rayonnements ionisants

L'ASN considère que les fournisseurs de générateurs électriques de rayonnements ionisants font l'objet d'un encadrement réglementaire encore insuffisant, alors que la mise sur le marché d'appareils revêt une importance première pour l'optimisation de l'exposition ultérieure des utilisateurs de ces mêmes appareils (voir point 4.4). Les travaux menés par l'ASN dans ce domaine ont conduit à la publication de la décision n° 2013-DC-0349 de l'ASN du 4 juin 2013 puis à une révision de cette décision en 2017 avec la publication de la décision du 13 juin 2017. Un encadrement réglementaire des appareils distribués en France est également envisagé sur le modèle des appareils contenant des sources radioactives.

Les cyclotrons

Dans ce domaine, l'ASN exerce sa mission de contrôle depuis début 2010 ; chaque nouvelle installation ou toute modification importante d'une installation existante fait l'objet d'une instruction complète par l'ASN. Les principaux enjeux de radioprotection sur ces installations doivent être pris en compte dès la conception. L'application des normes, en particulier la norme NF M 62-105 « Accélérateurs industriels : installations », ISO 10648-2 « Enceintes de confinement » et ISO 17873 « Système de ventilation des installations nucléaires », garantit une utilisation sécurisée des équipements et permet une réduction importante des risques.

Les établissements disposant d'un cyclotron et fabriquant des radionucléides et des produits en contenant sont soumis à des limites de rejets d'effluents gazeux fixées dans leur autorisation. Les niveaux de rejets dépendent des fréquences et des types de productions réalisées.

Afin de diminuer au maximum l'activité rejetée en sortie de cheminée, des systèmes de filtration et de piégeage des effluents gazeux sont installés dans les enceintes de production et dans les réseaux d'extraction des installations. De ce fait, les très basses activités rejetées et la faible période des radionucléides rejetés sous forme gazeuse conduisent à l'absence d'impact sur le public et l'environnement.

Certains exploitants ont également mis en place des systèmes de récupération des gaz pour décroissance avant leur rejet, installés au plus près des enceintes blindées, permettant une diminution notable des activités rejetées dans l'environnement.

L'ASN réalise une dizaine d'inspections dans ce type d'établissements chaque année. Les aspects liés à la radioprotection, à la sécurité d'utilisation ainsi qu'au bon fonctionnement des cyclotrons et des plateformes de production font l'objet d'une attention particulière lors des inspections. Le champ des inspections réalisées inclut, outre les éléments relatifs à la radioprotection, le suivi et la maintenance des équipements de production, le contrôle des systèmes de surveillance et d'asservissement ainsi que les bilans des rejets gazeux. Ces

établissements disposent d'une organisation de la radioprotection satisfaisante et d'une bonne connaissance de la réglementation. Des plans d'action nationaux sont mis en place par les exploitants et sont suivis par l'ASN, dans l'objectif d'une amélioration continue de la radioprotection et de la sécurité de ces installations.

Il existe des disparités dans les moyens techniques et organisationnels mis en œuvre par les exploitants, en fonction de l'ancienneté des installations et de la nature des activités réalisées (recherche ou production industrielle). Le retour d'expérience dans ce domaine a conduit l'ASN à saisir l'IRSN afin d'établir des recommandations sur les exigences nécessaires à la maîtrise des risques radiologiques applicables aux établissements utilisant un cyclotron. Un projet de texte réglementaire sur les règles techniques minimales de conception, d'exploitation et de maintenance pour ce type d'installation a été préparé par l'ASN en 2016 et a fait l'objet d'une consultation des parties prenantes. Une seconde version a été élaborée, prenant en compte les observations reçues et permettant ainsi de préciser le contenu de certains articles. La poursuite des travaux a été suspendue dans l'attente de l'achèvement de la réécriture, au niveau réglementaire, des dispositions du code du travail et du code de la santé publique (voir chapitre 3). Le travail mené est cependant déjà utilisé dans le cadre de l'instruction des dossiers de demande d'autorisation et pour fixer les prescriptions individuelles des autorisations qui sont délivrées aux exploitants.

Dans le même domaine, l'ASN a engagé une étude approfondie sur les rejets émis dans l'environnement par ces installations. Dans un premier temps, en 2016, l'ensemble des exploitants fabriquant des radionucléides au moyen d'un cyclotron ont été destinataires d'un questionnaire rédigé par l'ASN et l'IRSN. L'analyse des réponses a été confiée à l'IRSN et les résultats de ces études ont été remis à l'ASN en 2017. Des échanges complémentaires avec l'IRSN et les exploitants seront poursuivis en 2018 afin d'établir une doctrine en matière de rejets d'effluents gazeux pour ce type d'installation.



| Inspection de l'ASN de l'installation Cyclopharma à Saint-Beauzire (63)

La mise en œuvre des nouveaux régimes administratifs encadrant les activités nucléaires

À partir de 2018, l'ASN préparera l'entrée en vigueur des nouveaux régimes administratifs applicables aux activités nucléaires en établissant notamment, au plus tôt, une nomenclature de classement des différentes catégories d'activités nucléaires. Sur cette base, elle prendra les décisions nécessaires pour que les activités nucléaires concernées puissent bénéficier du classement dans les régimes de déclaration ou d'enregistrement et définira les prescriptions à respecter dans le cadre de leur exercice. Elle modifiera également les décisions relatives au contenu des déclarations et des dossiers de demandes d'autorisation en y intégrant, en outre, les éléments nécessaires au contrôle de la sécurité des sources.

Le contrôle de protection des sources radioactives contre les actes de malveillance

L'ASN a poursuivi en 2017, avec ses partenaires institutionnels, la préparation des textes nécessaires à la mise en œuvre effective du contrôle de la protection des sources radioactives contre les actes de malveillance. Dès leur publication, de premières dispositions seront applicables et les responsables d'activités nucléaires devront notamment autoriser individuellement l'accès aux sources les plus dangereuses, leur convoyage et l'accès aux informations sensibles. Ils seront progressivement amenés à prendre toutes dispositions utiles pour protéger leurs sources de rayonnements ionisants contre les actes de malveillance, selon un calendrier fixé par les textes à venir, qui leur permettra d'anticiper et de planifier les actions à mettre en place. L'ASN a été désignée comme autorité de contrôle de ces dispositions pour la plupart des sources radioactives.

L'ASN a, enfin, poursuivi les actions qu'elle a engagées pour anticiper la formation de ses agents et le développement d'outils adaptés pour une prise en charge rapide et efficace de cette nouvelle mission. Plusieurs sessions de formation ont déjà été organisées en 2017. Elle poursuivra cette action en 2018 et adaptera les outils qu'elle utilise déjà pour assurer le contrôle de la radioprotection (décisions relatives à la constitution des demandes d'autorisation, formulaires associés, publication de guides à destination des professionnels et des inspecteurs, etc.). Elle veillera, en outre, à mener une communication ciblée à destination des responsables d'activité concernés.

