

La présente publication a été remplacée par les publications suivantes:
GSR Part 4, GSG-12, GSG-13, SSG-8, SSG-11, SSG-45, SSG-49, SSG-55,
SSG-57, SSG-58, SSG-87, n° 50 de la collection Rapports de sûreté,
et n° NW-G-2.1 et n° NW-T-2.3 de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA.

Normes de sûreté de l'AIEA

pour la protection des personnes et de l'environnement

Sûreté des générateurs de rayonnements et des sources radioactives scellées

Guide de sûreté
No. RS-G-1.10



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

PUBLICATIONS DE L'AIEA CONCERNANT LA SÛRETÉ

NORMES DE SÛRETÉ

En vertu de l'article III de son Statut, l'AIEA a pour attributions d'établir ou d'adopter des normes de sûreté destinées à protéger la santé et à réduire au minimum les dangers auxquels sont exposés les personnes et les biens et de prendre des dispositions pour appliquer ces normes aux activités nucléaires pacifiques.

Les publications par lesquelles l'AIEA établit des normes paraissent dans la **collection Normes de sûreté de l'AIEA**. Cette collection couvre la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté du transport et la sûreté des déchets, ainsi que la sûreté générale (c'est-à-dire l'ensemble de ces quatre domaines). Cette collection comporte les catégories suivantes: **fondements de sûreté, prescriptions de sûreté et guides de sûreté**.

Les normes de sûreté portent un code selon le domaine couvert : sûreté nucléaire (NS), sûreté radiologique (RS), sûreté du transport (TS), sûreté des déchets (WS) et sûreté générale (GS).

Des informations sur le programme de normes de sûreté de l'AIEA sont données sur le site suivant :

<http://www-ns.iaea.org/standards/>

Ce site donne accès aux textes en anglais des normes publiées et en projet. Les textes des normes publiées en arabe, chinois, espagnol, français et russe, le glossaire de la sûreté de l'AIEA et un état des normes en cours d'élaboration sont aussi consultables. Pour de plus amples informations, prière de contacter l'AIEA, BP 100, 1400 Vienne (Autriche).

Tous les utilisateurs des normes de sûreté sont invités à faire connaître à l'AIEA leur expérience en la matière (par exemple en tant que base de la réglementation nationale, d'examens de la sûreté et de cours) afin que les normes continuent de répondre aux besoins des utilisateurs. Ces informations peuvent être communiquées par le biais du site Internet, par la poste (à l'adresse indiquée ci-dessus) ou par courriel (Official.Mail@iaea.org).

AUTRES PUBLICATIONS CONCERNANT LA SÛRETÉ

L'AIEA prend des dispositions pour l'application des normes et, en vertu de l'article III et du paragraphe C de l'article VIII de son Statut, elle favorise l'échange d'informations sur les activités nucléaires pacifiques et sert d'intermédiaire entre ses États Membres à cette fin.

Les rapports sur la sûreté et la protection dans le cadre des activités nucléaires sont publiés dans d'autres collections, en particulier la **collection Rapports de sûreté de l'AIEA**. Ces rapports donnent des exemples concrets et proposent des méthodes détaillées qui peuvent être utilisées à l'appui des normes de sûreté. D'autres publications de l'AIEA concernant la sûreté paraissent dans les collections **Provision for the Application of Safety Standards Series** et **Radiological Assessment Reports Series**, en anglais seulement, ainsi que dans la **collection INSAG** (Groupe international pour la sûreté nucléaire). L'AIEA édite aussi des rapports sur les accidents radiologiques et d'autres publications spéciales.

Des publications concernant la sûreté paraissent dans les collections **Documents techniques (TECDOC)** et **Cours de formation**, et en anglais uniquement dans les collections **IAEA Services Series**, **Practical Radiation Safety Manuals** et **Practical Radiation Technical Manuals**. Les publications concernant la sécurité paraissent dans la collection **IAEA Nuclear Security Series**.

La présente publication a été remplacée par de nombreuses publications existantes de l'AIEA.

SÛRETÉ DES GÉNÉRATEURS
DE RAYONNEMENTS
ET DES SOURCES
RADIOACTIVES SCELLÉES

La présente publication a été remplacée par de nombreuses publications existantes de l'AIEA.

Les États ci-après sont Membres de l'Agence internationale de l'énergie atomique:

AFGHANISTAN	GUATEMALA	OUZBÉKISTAN
AFRIQUE DU SUD	HAÏTI	PAKISTAN
ALBANIE	HONDURAS	PALAU
ALGÉRIE	HONGRIE	PANAMA
ALLEMAGNE	ÎLES MARSHALL	PARAGUAY
ANGOLA	INDE	PAYS-BAS
ARABIE SAOUDITE	INDONÉSIE	PÉROU
ARGENTINE	IRAN, RÉP. ISLAMIQUE D'	PHILIPPINES
ARMÉNIE	IRAQ	POLOGNE
AUSTRALIE	IRLANDE	PORTUGAL
AUTRICHE	ISLANDE	QATAR
AZERBAÏDJAN	ISRAËL	RÉPUBLIQUE ARABE
BANGLADESH	ITALIE	SYRIENNE
BÉLARUS	JAMAÏRIYA ARABE	RÉPUBLIQUE
BELGIQUE	LIBYENNE	CENTRAFRICAINE
BELIZE	JAMAÏQUE	RÉPUBLIQUE
BÉNIN	JAPON	DÉMOCRATIQUE
BOLIVIE	JORDANIE	DU CONGO
BOSNIE-HERZÉGOVINE	KAZAKHSTAN	RÉPUBLIQUE DE MOLDOVA
BOTSWANA	KENYA	RÉPUBLIQUE DOMINICAINE
BRÉSIL	KIRGHIZISTAN	RÉPUBLIQUE TCHÈQUE
BULGARIE	KOWEÏT	RÉPUBLIQUE-UNIE DE
BURKINA FASO	LETTONIE	TANZANIE
CAMEROUN	L'EX-RÉPUBLIQUE YOUNGOLAND	ROUMANIE
CANADA	SLAVE DE MACÉDOINE	ROYAUME-UNI
CHILI	LIBAN	DE GRANDE-BRETAGNE
CHINE	LIBÉRIA	ET D'IRLANDE DU NORD
CHYPRE	LIECHTENSTEIN	SAINT-SIÈGE
COLOMBIE	LITUANIE	SÉNÉGAL
CORÉE, RÉPUBLIQUE DE	LUXEMBOURG	SERBIE
COSTA RICA	MADAGASCAR	SEYCHELLES
CÔTE D'IVOIRE	MALAISIE	SIERRA LEONE
CROATIE	MALAWI	SINGAPOUR
CUBA	MALI	SLOVAQUIE
DANEMARK	MALTE	SLOVÉNIE
ÉGYPTE	MAROC	SOUDAN
EL SALVADOR	MAURICE	SRI LANKA
ÉMIRATS ARABES UNIS	MAURITANIE	SUÈDE
ÉQUATEUR	MEXIQUE	SUISSE
ÉRYTHRÉE	MONACO	TADJIKISTAN
ESPAGNE	MONGOLIE	TCHAD
ESTONIE	MONTÉNÉGRO	THAÏLANDE
ÉTATS-UNIS	MOZAMBIQUE	TUNISIE
D'AMÉRIQUE	MYANMAR	TURQUIE
ÉTHIOPIE	NAMIBIE	UKRAINE
FÉDÉRATION DE RUSSIE	NÉPAL	URUGUAY
FINLANDE	NICARAGUA	VENEZUELA
FRANCE	NIGER	VIETNAM
GABON	NIGERIA	YÉMEN
GÉORGIE	NORVÈGE	ZAMBIE
GHANA	NOUVELLE-ZÉLANDE	ZIMBABWE
GRÈCE	OUGANDA	

Le Statut de l'Agence a été approuvé le 23 octobre 1956 par la Conférence sur le Statut de l'AIEA, tenue au Siège de l'Organisation des Nations Unies, à New York; il est entré en vigueur le 29 juillet 1957. L'Agence a son Siège à Vienne. Son principal objectif est «de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier».

La présente publication a été remplacée par de nombreuses publications existantes de l'AIEA.

COLLECTION
NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA No. RS-G-1.10

SÛRETÉ DES GÉNÉRATEURS
DE RAYONNEMENTS
ET DES SOURCES
RADIOACTIVES SCÉLLÉES

GUIDE DE SÛRETÉ

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE, 2008

DROIT D'AUTEUR

Toutes les publications scientifiques et techniques de l'AIEA sont protégées par les dispositions de la Convention universelle sur le droit d'auteur adoptée en 1952 (Berne) et révisée en 1972 (Paris). Depuis, le droit d'auteur a été élargi par l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (Genève) à la propriété intellectuelle sous forme électronique. La reproduction totale ou partielle des textes contenus dans les publications de l'AIEA sous forme imprimée ou électronique est soumise à autorisation préalable et habituellement au versement de redevances. Les propositions de reproduction et de traduction à des fins non commerciales sont les bienvenues et examinées au cas par cas. Les demandes doivent être adressées à la Section d'édition de l'AIEA :

Unité de la vente et de la promotion des publications, Section d'édition
Agence internationale de l'énergie atomique
Wagramer Strasse 5
BP 100
1400 Vienne, Autriche
télécopie : +43 1 2600 29302
téléphone : +43 1 2600 22417
courriel : sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

© AIEA, 2008

Imprimé par l'AIEA en Autriche
Décembre 2008

**SÛRETÉ DES GÉNÉRATEURS DE RAYONNEMENTS
ET DES SOURCES RADIOACTIVES SCÉLLÉES**

AIEA, VIENNE, 2008

STI/PUB/1258

ISBN 978-92-0-212208-6

ISSN 1020-5829

AVANT-PROPOS

par Mohamed ElBaradei
Directeur général

De par son Statut, l'Agence a pour attribution d'établir des normes de sûreté destinées à protéger la santé et à réduire au minimum les dangers auxquels sont exposés les personnes et les biens – normes qu'elle doit appliquer à ses propres opérations et qu'un État peut appliquer en adoptant les dispositions réglementaires nécessaires en matière de sûreté nucléaire et radiologique. Un ensemble complet de normes de sûreté faisant l'objet d'un réexamen régulier, pour l'application desquelles l'AIEA apporte son assistance, est désormais un élément clé du régime mondial de sûreté.

Au milieu des années 90 a été entreprise une refonte complète du programme de normes de sûreté, avec l'adoption d'une structure révisée de supervision et d'une approche systématique de la mise à jour de l'ensemble de normes. Les nouvelles normes sont de haute qualité et reflètent les meilleures pratiques en vigueur dans les États Membres. Avec l'assistance de la Commission des normes de sûreté, l'AIEA travaille à promouvoir l'acceptation et l'application de ses normes de sûreté dans le monde entier.

Toutefois, les normes de sûreté ne sont efficaces que si elles sont correctement appliquées. Les services de sûreté de l'AIEA – qui couvrent la sûreté de l'ingénierie, la sûreté d'exploitation, la sûreté radiologique et la sûreté du transport et des déchets, de même que les questions de réglementation et la culture de sûreté dans les organisations – aident les États Membres à appliquer les normes et à évaluer leur efficacité. Ils permettent de partager des idées utiles et je continue d'encourager tous les États Membres à y recourir.

Réglementer la sûreté nucléaire et radiologique est une responsabilité nationale et de nombreux États Membres ont décidé d'adopter les normes de sûreté de l'AIEA dans leur réglementation nationale. Pour les parties contractantes aux diverses conventions internationales sur la sûreté, les normes de l'AIEA sont un moyen cohérent et fiable d'assurer un respect effectif des obligations découlant de ces conventions. Les normes sont aussi appliquées par les concepteurs, les fabricants et les exploitants dans le monde entier pour accroître la sûreté nucléaire et radiologique dans le secteur de la production d'énergie, en médecine, dans l'industrie, en agriculture, et dans la recherche et l'enseignement.

l'AIEA prend très au sérieux le défi permanent consistant pour les utilisateurs et les spécialistes de la réglementation à faire en sorte que la sûreté d'utilisation des matières nucléaires et des sources de rayonnements soit

La présente publication a été remplacée par de nombreuses publications existantes de l'AIEA.

maintenue à un niveau élevé dans le monde entier. La poursuite de leur utilisation pour le bien de l'humanité doit être gérée de manière sûre, et les normes de sûreté de l'AIEA sont conçues pour faciliter la réalisation de cet objectif.

NOTE DE L'ÉDITEUR

L'emploi d'appellations particulières pour désigner des pays ou des territoires n'implique de la part de l'éditeur — l'AIEA — aucune prise de position quant au status juridique de ces pays ou territoires ou de leurs autorités et institutions, ni quant au tracé de leurs frontières.

La mention de noms de sociétés ou de produits particuliers (qu'ils soient ou non signalés comme marques déposées) n'implique aucune intention d'empiéter sur les droits de propriété, et ne doit pas être considérée non plus comme valant approbation ou recommandation de la part de l'Agence.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
	Généralités (1.1–1.3)	1
	Objectif (1.4).....	2
	Champ d'application (1.5–1.7)	3
	Structure (1.8).....	4
2.	INFRASTRUCTURE DE RÉGLEMENTATION ET RESPONSABILITÉS	5
	Infrastructure de sûreté radiologique (2.1–2.2)	5
	Responsabilités de l'organisme de réglementation (2.3–2.5)	6
	Responsabilités des parties principales (2.6–2.17).....	7
3.	ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ	11
	Évaluation de la sûreté (3.1–3.25)	11
	Interactions entre la sûreté et la sécurité (3.26–3.27)	21
4.	CONCEPTION, FABRICATION ET UTILISATION DES SOURCES DE RAYONNEMENTS ET CONCEPTION ET EXPLOITATION DES INSTALLATIONS (4.1–4.2).....	21
	Conception et fabrication des sources (4.3–4.18).....	22
	Utilisation des sources et conception et exploitation des installations (4.19–4.26)	28
	Transport des sources radioactives (4.27–4.34)	31
5.	DÉCLASSEMENT DES INSTALLATIONS ET GESTION DES SOURCES RETIRÉES DU SERVICE (5.1–5.17).....	33
	RÉFÉRENCES	39

La présente publication a été remplacée par de nombreuses publications existantes de l'AIEA.

ANNEXE I : FACTEURS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION POUR LA MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE SÛRETÉ RADIOLOGIQUE : EXEMPLE D'UNE GRANDE UNITÉ D'IRRADIATION INDUSTRIELLE	43
Références de l'annexe I.....	50
ANNEXE II : ÉVALUATION PROBABILISTE DE LA SÛRETÉ ...	51
Références de l'annexe II.....	58
PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À LA RÉVISION DU TEXTE	59
ORGANES CONSULTATIFS POUR L'APPROBATION DES NORMES DE SÛRETÉ	61

1. INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

1.1. Les sources de rayonnements ont de larges applications en médecine, dans l'industrie, la recherche, l'agriculture et l'enseignement. Elles doivent être gérées dans de bonnes conditions de sûreté et de sécurité. Mal utilisées ou mal protégées, elles peuvent entraîner la mort, de graves blessures et des pertes économiques, comme on en a déjà fait l'expérience dans de nombreuses parties du monde. L'AIEA a publié un certain nombre de rapports sur les conséquences sanitaires d'accidents dus à la perte du contrôle ou à la mauvaise utilisation des sources [1 à 14]. Les pertes économiques peuvent également se révéler élevées, en particulier lorsque les accidents donnent lieu à une contamination radioactive de grande ampleur, comme ceux qui se sont produits à Juarez (Mexique) en 1983 [15] et à Goiânia (Brésil) en 1987 [1].

1.2. Le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a examiné à plusieurs reprises la question de la sûreté et de la sécurité des sources de rayonnements. En outre, dans sa résolution GC(42)/RES/12 relative à la sûreté des sources de rayonnements et à la sécurité des matières radioactives, qu'elle a adoptée le 25 septembre 1998, la Conférence générale a notamment engagé tous les gouvernements « à prendre des mesures pour faire en sorte qu'il existe sur leur territoire des systèmes de contrôle nationaux efficaces qui assurent la sûreté des sources de rayonnements et la sécurité des matières radioactives ».

1.3. L'AIEA a publié un certain nombre d'ouvrages dans lesquels elle souligne qu'il est nécessaire que ses États Membres disposent de systèmes nationaux garantissant la sûreté des sources de rayonnements :

- L'ancienne publication de la catégorie « Fondements de la sûreté » intitulée « Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements »,¹ remplacée par la publication citée en référence [16], pose les principes de la radioprotection et indique notamment que les gouvernements doivent mettre en place un cadre juridique pour assurer le contrôle réglementaire des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements.

¹ Agence internationale de l'énergie atomique, Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements, Collection sécurité No. 120, AIEA, Vienne (1996).

- Les Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements (NFI) [17] imposent aux parties responsables, et en particulier aux titulaires d'enregistrements ou de licences et aux employeurs, de mettre en place un système de contrôle des sources de rayonnements pour garantir la sûreté de celles-ci.
- La publication de la catégorie “Prescriptions de sûreté” intitulée “Infrastructure législative et gouvernementale pour la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté des déchets radioactifs et la sûreté du transport” (Prescriptions concernant l'infrastructure législative et gouvernementale) [18] indique quelles doivent être les responsabilités législatives et gouvernementales concernant la mise en place d'une infrastructure nationale de réglementation.
- Le Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives (le Code de conduite) [19] impose en outre aux États adoptants de prendre des mesures appropriées pour faire en sorte que ces sources soient gérées de façon sûre et sécurisée. Le Code de conduite précise que chaque État devrait avoir mis en place un système national de réglementation efficace, permettant, entre autres, de réduire au minimum le risque d'une perte de contrôle des sources.

Le présent guide de sûreté a pour objet de faciliter la mise en oeuvre des dispositions des NFI et les prescriptions concernant l'infrastructure législative et gouvernementale et est conforme au Code de conduite pour ce qui est des résultats à attendre en matière de sûreté et de sécurité.

OBJECTIF

1.4. L'objectif du présent guide de sûreté est d'aider les États Membres à mettre en oeuvre les prescriptions réglementaires visant à garantir la sûreté des sources de rayonnements. À cet effet, le présent guide propose des axes à suivre dans le cadre de l'établissement des responsabilités qui incombent aux organes législatifs et gouvernementaux en matière de sûreté, des méthodes à suivre pour réaliser des évaluations de la sûreté et des mesures spécifiques qui devraient être prises au stade de la conception et de l'exploitation pour garantir la sûreté pendant toute la durée de vie d'une source de rayonnements.

CHAMP D'APPLICATION

1.5. Le présent guide de sûreté a été établi à l'intention des organismes de réglementation² et des utilisateurs³ afin de leur donner des indications concernant la sûreté des générateurs de rayonnements et des sources radioactives scellées. Il s'applique à toutes les pratiques, à l'exception de celles remplissant les conditions requises pour être exemptées des prescriptions des NFI (réf. [17], par. 2.17 et 2.18). Il traite d'une manière générale des mesures à prendre et des objectifs à étudier par les personnes juridiques autorisées⁴ pendant toute la durée de vie d'une source de rayonnements⁵.

1.6. Le présent guide vise toutes les installations où des sources de rayonnements doivent être gérées de façon sûre, y compris les dispositifs contenant les sources⁶ mentionnées dans le tableau 1 à la section 3. Les mesures de sûreté recommandées sont également applicables aux sources radioactives présentes dans les installations nucléaires ou les installations de stockage définitif des déchets radioactifs où, de toute façon, le niveau de sûreté se doit d'être élevé.

² Le terme 'organisme de réglementation' désigne tous les types d'infrastructures réglementaires, y compris les systèmes relevant d'une ou plusieurs autorités uniquement au niveau national et les systèmes fédéraux au sein desquels les responsabilités sont réparties entre les autorités régionales, provinciales ou nationales compétentes. Il est synonyme du terme 'autorité de réglementation' utilisé dans certaines publications antérieures de l'AIEA, dont les NFI.

³ Dans le présent guide de sûreté, le terme 'utilisateur' est parfois utilisé à la place du terme 'partie principale' (voir par. 2.6) par souci de légèreté. Le terme 'partie principale' est toujours utilisé lorsqu'il s'agit d'une recommandation (disposition formulée au conditionnel).

⁴ On entend par 'personne juridique' aussi bien une personne physique qu'une personne morale (voir les NFI [17]).

⁵ Dans le présent guide les termes 'source' ou 'source de rayonnements' désignent soit un générateur de rayonnements, soit une source radioactive, selon le contexte.

⁶ Les sources de rayonnements sont souvent placées dans des dispositifs qui orientent, filtrent, diffusent ou modifient d'une autre manière le rayonnement émis. Ces dispositifs sont visés par le présent guide lorsque ces sources en font partie intégrante, mais la sûreté des dispositifs en général est traitée dans d'autres publications de l'AIEA. Par conséquent, dans le présent guide, le terme 'source' désigne la source ou le dispositif, selon le cas.

1.7. Les questions de sécurité se rapportant à la prévention et à la détection des actes de malveillance et aux mesures à prendre pour y faire face n'entrent pas dans le champ d'application du présent guide et sont traitées dans d'autres publications de l'AIEA (voir, par exemple, [19 et 20]⁷). Cependant, il est essentiel d'assurer la sécurité des sources pour en garantir la sûreté, et le présent guide renvoie aux prescriptions des NFI en matière de sécurité qui leur sont applicables, en particulier à celles visant à les protéger de tout accès ou utilisation non autorisés⁸. La sûreté et la sécurité des matières nucléaires⁹, le contrôle des expositions médicales, la reprise du contrôle sur les sources orphelines¹⁰ et les procédures à suivre après un accident n'entrent pas non plus dans le champ d'application du présent guide.

STRUCTURE

1.8. La section 2 du présent guide traite des infrastructures et des responsabilités nationales, la section 3 de la façon de réaliser une évaluation de la sûreté et la section 4 de la conception, de la fabrication et de l'utilisation des sources de rayonnements ainsi que de la conception et de l'exploitation des installations. Certaines des recommandations du présent guide ont pour objet la manipulation sûre et en toute sécurité des sources de rayonnements à différentes étapes de leur vie, et un certain nombre de questions qui se posent en fin de vie des sources sont examinées plus en détail dans la section 5. Divers facteurs qu'il faudrait prendre en considération lors de la mise en place d'un système de sûreté pour les sources sont présentés à titre d'exemple dans l'annexe I et plusieurs techniques d'évaluation probabiliste de sûreté sont décrites dans l'annexe II.

⁷ La publication à laquelle renvoie la référence [20] ne contient que des recommandations provisoires. D'autres ouvrages traitant des questions de sécurité sont publiés dans la collection « Sûreté nucléaire » de l'AIEA.

⁸ Les termes 'sécurité aux fins de la sûreté' sont utilisés dans le présent guide pour exprimer cette idée précise.

⁹ Les matières nucléaires sont définies comme suit dans la Convention sur la protection physique des matières nucléaires : « Par 'matières nucléaires', il faut entendre le plutonium à l'exception du plutonium dont la concentration isotopique en plutonium 238 dépasse 80 %, l'uranium 233, l'uranium enrichi en uranium 235 ou 233, l'uranium contenant le mélange d'isotopes qui se trouve dans la nature autrement que sous forme de minerai ou de résidu de minerai, et toute matière contenant un ou plusieurs des éléments ou isotopes ci-dessus ».

¹⁰ Une 'source orpheline' est une source radioactive qui n'est pas soumise à un contrôle réglementaire, soit parce qu'elle n'y a jamais été soumise, soit parce qu'elle a été abandonnée, perdue, égarée, volée ou transférée sans autorisation appropriée.

2. INFRASTRUCTURE DE RÉGLEMENTATION ET RESPONSABILITÉS

INFRASTRUCTURE DE SÛRETÉ RADIOLOGIQUE

2.1. Selon les NFI [17] et les Prescriptions concernant l'infrastructure législative et gouvernementale [18], une infrastructure nationale comprend les éléments suivants : une législation et une réglementation ; un organisme de réglementation habilité à autoriser et inspecter les activités soumises à réglementation et à faire respecter la législation et la réglementation ; des ressources matérielles et en personnel qualifié suffisantes pour mettre en oeuvre le système de réglementation. L'organisme de réglementation devrait être doté des pouvoirs et des ressources nécessaires pour s'acquitter de ces fonctions et être véritablement indépendant des services et organismes gouvernementaux éventuellement chargés de promouvoir et de développer les pratiques qu'il a pour mission de réglementer. Il devrait aussi être indépendant des titulaires d'enregistrements et de licences ainsi que de ceux qui conçoivent et fabriquent les sources de rayonnements utilisées dans le cadre de ces pratiques.

2.2. La législation et la réglementation devraient inclure les prescriptions énoncées dans les NFI [17]. Le paragraphe 2.13 c) des NFI demande que toute personne sollicitant une autorisation évalue la nature, le niveau et la probabilité des expositions imputées à la source et prenne toutes les mesures nécessaires pour assurer la protection et la sûreté des travailleurs et du public. Le paragraphe 2.13 d) demande en outre que si l'exposition prévue se révèle supérieure à tout niveau spécifié par l'organisme de réglementation, une évaluation de la sûreté soit réalisée et présentée à l'organisme de réglementation en même temps que la demande d'autorisation. Le paragraphe 2.37 demande par ailleurs que les évaluations de la sûreté portant sur les mesures de protection et de sûreté soient effectuées à différents stades de la vie des sources, notamment lors du choix du site, de la conception, de la fabrication, de la construction, de l'assemblage, de la mise en service, de l'exploitation, de l'entretien et du déclassement. Des prescriptions détaillées concernant les aspects pratiques de la sûreté des sources de rayonnements figurent dans l'appendice IV des NFI, et des indications supplémentaires sont fournies dans la documentation d'appui publiée dans la collection « Normes de sûreté » de l'AIEA, par exemple dans le guide de sûreté sur le contrôle réglementaire des sources de rayonnements [22].

RESPONSABILITÉS DE L'ORGANISME DE RÉGLEMENTATION

2.3. Les Prescriptions concernant l'infrastructure législative et gouvernementale [18] indiquent les responsabilités qui incombent au gouvernement dans la mise en place d'un cadre réglementaire national pour le contrôle des sources de rayonnements. Les responsabilités incombant à l'organisme de réglementation sont décrites en détail dans les NFI [17] et dans la publication citée en référence [22]. L'organisme de réglementation devrait adopter une approche graduée en matière de réglementation de sûreté afin d'utiliser les ressources de manière efficiente et efficace : la rigueur des prescriptions applicables à une source devrait être proportionnelle au risque que celle-ci présente. Certaines sources et certains équipements peuvent être exemptés des prescriptions des NFI (notamment celles concernant la notification, l'enregistrement et l'obtention d'une licence) s'ils satisfont aux critères d'exemption figurant dans l'appendice I des NFI.

2.4. L'organisme de réglementation devrait imposer que les personnes ayant l'intention de posséder et d'utiliser des sources de rayonnements demandent une autorisation et exiger qu'elles présentent une évaluation de la sûreté à l'appui de leur demande lorsque cela est jugé nécessaire au regard des risques encourus. Des indications supplémentaires concernant l'évaluation de la sûreté sont fournies dans la section 3.

2.5. L'organisme de réglementation devrait :

- a) Tenir des registres appropriés des titulaires d'autorisations de posséder ou d'utiliser des sources de rayonnements, en indiquant clairement les types de sources qu'ils ont le droit de posséder ou d'utiliser.
- b) Tenir à jour un registre répertoriant chaque source — a minima pour les sources radioactives des catégories 1 et 2 (voir tableau 1) — et dans lequel le transfert et l'évacuation des sources à l'expiration de l'autorisation sont consignés de façon appropriée.
- c) Mettre en place des systèmes permettant de faire en sorte que, lorsque cela est possible, on puisse identifier les sources et en retrouver l'origine. Lorsqu'une identification permanente n'est pas possible, comme cela peut être le cas par exemple pour certaines sources susceptibles d'être séparées ou fragmentées telles que celles se présentant sous la forme de fils utilisées en curiethérapie, l'organisme de réglementation devrait veiller à ce qu'il existe des processus qui permettent de les identifier, de retracer l'utilisation qui a en a été faite et de savoir ce qu'il en est advenu.

- d) Veiller à ce que les principes et les critères réglementaires restent adéquats et valides et tiennent compte, s'il y a lieu, de l'expérience d'exploitation et des normes et recommandations approuvées au niveau international.
- e) Mettre en oeuvre un programme d'inspection pour vérifier le maintien des installations et de programmes pour assurer une gestion adéquate des sources de rayonnements.

RESPONSABILITÉS DES PARTIES PRINCIPALES

2.6. Les titulaires d'enregistrements et de licences sont les parties principales¹¹ auxquelles incombe la responsabilité d'établir et d'appliquer les mesures techniques et d'organisation nécessaires pour garantir la sûreté des sources pour lesquelles ils sont autorisés. Les dispositions prises en matière de sûreté et de protection devraient être consignées par écrit. Les titulaires d'enregistrements et de licences peuvent charger d'autres personnes de le faire à leur place, mais ce sont eux qui continuent à en assumer la responsabilité. Ils devraient indiquer quelles sont les personnes auxquelles il incombe de veiller à ce que les sources soient utilisées conformément aux recommandations du présent guide de sûreté et aux prescriptions des NFI ou à la réglementation nationale.

2.7. Les parties principales devraient veiller à ce que :

- a) Les sources soient utilisées conformément aux autorisations les concernant.
- b) L'accès aux sources soit contrôlé au moyen de mesures administratives et techniques adaptées à la catégorie de sources en question et notamment de barrières physiques et de dispositifs de verrouillage et de déblocage dont seules les personnes autorisées détiennent les clefs.
- c) Après utilisation, les sources soient entreposées sans tarder conformément à une procédure approuvée. En particulier, les dispositions temporaires devraient être évitées lorsqu'une source ne doit pas être utilisée pendant un certain temps. La méthode d'entreposage

¹¹ Le paragraphe 1.6 des NFI [17] précise que «Les parties principales auxquelles incombent essentiellement des responsabilités dans l'application des Normes sont les suivantes: a) titulaires d'enregistrements ou de licences; b) employeurs.

devrait être conforme aux exigences réglementaires applicables à la catégorie de source concernée.

- d) Tout transfert de source à une autre personne soit consigné par écrit et que cette personne soit autorisée, conformément aux prescriptions réglementaires applicables, à recevoir la source aussi transférée.
- e) Des dispositions financières conformes aux prescriptions réglementaires aient été prises pour pourvoir à la gestion sûre des sources retirées du service.
- f) Les sources soient expédiées et réceptionnées conformément aux prescriptions réglementaires.

2.8. Les parties principales et les personnes autorisées par celles-ci devraient se tenir prêtes à aider les autorités nationales ou les autorités locales chargées de faire respecter la loi à récupérer toute source perdue ou volée appartenant à un titulaire d'enregistrement ou de licence .

Personnes responsables des sources

2.9. Toute personne à laquelle des responsabilités ont été confiées par la partie principale devrait disposer des connaissances et de l'autorité nécessaires pour veiller à la mise en œuvre des mesures recommandées dans le présent guide pour garantir la sûreté des sources.

2.10. La personne responsable devrait s'assurer que tous les membres du personnel qui utilisent des sources ou qui y ont accès disposent des autorisations nécessaires et ont reçu la formation voulue pour manipuler ces sources dans le cadre de leurs attributions.

Sécurité aux fins de la sûreté

2.11. Le paragraphe 2.34 des NFI [17] exige expressément que, pour empêcher que des sources de rayonnements ne soient endommagées ou détenues sans autorisation, des mesures soient prises afin que le contrôle de ces sources ne soit pas abandonné ni indûment transféré et que des inventaires périodiques des sources mobiles soient effectués :

« Les sources sont mises en sûreté de façon à éviter qu'elles ne soient volées ou endommagées et à empêcher toute personne physique ou morale non autorisée d'entreprendre l'une quelconque des actions visées dans les Normes sous « Obligations générales » pour les pratiques (voir les paragraphes 2.7-2.9), afin :

- a) que le contrôle d'une source ne cesse pas sans que toutes les prescriptions pertinentes spécifiées dans l'enregistrement ou la licence soient respectées, et que des informations concernant toute source qui n'est plus soumise à un contrôle ou qui est perdue, volée ou égarée soient communiquées immédiatement à l'Organisme de réglementation et, s'il y a lieu, à l'organisation de parrainage compétente ;
- b) qu'une source ne soit transférée que si le destinataire possède une autorisation valide ;
- c) qu'un inventaire périodique des sources mobiles soit effectué à intervalles appropriés pour confirmer qu'elles se trouvent à l'emplacement qui leur a été affecté et qu'elles sont en sûreté ».

2.12. Les mesures de 'sécurité à des fins de sûreté' devraient au minimum permettre d'assurer un contrôle afin de protéger les sources contre l'endommagement, la perte ou le vol. Il conviendrait de demander l'avis d'experts en sécurité pour mettre en oeuvre des mesures adaptées à chaque source qui soient conformes aux prescriptions fixées par les autorités responsables en matière de sécurité. Des indications supplémentaires sont fournies dans d'autres publications de l'AIEA (cf. par exemple, les références [19] et [20]).

Comptabilité des sources – inventaires et registres

2.13. Des registres devraient être établis pour toutes les sources. Les inventaires devraient être actualisés régulièrement en fonction de la catégorisation des sources ou conformément à d'autres prescriptions réglementaires applicables. Les registres devraient être conservés en lieu sûr.

2.14. Indépendamment du processus normal d'établissement et d'actualisation susmentionné, les registres relatifs aux sources devraient être mis à jour chaque fois qu'un changement (par exemple d'emplacement) se produit et en particulier lorsque les sources sont transférées. Ces dossiers devraient contenir les renseignements ci-après :

- a) Numéro de série ou marque d'identification unique ;
- b) Référence attribuée par le fabricant permettant de retrouver les spécifications de construction ;
- c) Radionucléide (symbole de l'élément et nombre isotopique) ;
- d) Activité à une date spécifiée ;
- e) Forme physique ;

- f) Propriétés physico-chimiques et notamment les principaux rayonnements émis (α , β , γ , n) ;
- g) Emplacement de la source ;
- h) Lorsque cela n'apparaît pas de façon manifeste dans les éléments ci-dessus, spécifications du dispositif ou de l'équipement avec lequel la source est utilisée, si cela est essentiel pour la sûreté ;
- i) S'il y a lieu, historique de l'utilisation de la source (par exemple, relevé des opérations de manipulation de la source) ;
- j) Renseignements concernant la réception, le transfert ou l'évacuation de la source.

Dans le cas des générateurs de rayons X, les renseignements descriptifs mentionnés plus haut aux points c), d), e) et f), devraient être remplacés par la tension de crête du tube (en kVp) et l'intensité nominale maximale du faisceau (en mA). Dans le cas des accélérateurs de particules, tous les paramètres importants pour la sûreté devraient être enregistrés conformément aux prescriptions de l'organisme de réglementation.

Système d'indication de l'état et de notification des événements

2.15. La partie principale devrait veiller à ce qu'une procédure ait été mise en place pour communiquer systématiquement à l'organisme de réglementation des renseignements détaillés sur l'état de la source ainsi que les rapports exigés.

2.16. Outre les informations concernant les questions de sûreté qui sont normalement exigées, des rapports devraient être présentés rapidement sur tout événement inhabituel susceptible d'avoir une incidence sur la sûreté, et ces événements devraient faire l'objet d'une analyse. La législation nationale devrait exiger que de telles analyses soient effectuées et communiquées, l'organisme de réglementation étant habilité à enquêter sur les incidents importants ayant des répercussions sur la sûreté. Les événements devant être signalés à l'organisme de réglementation et, s'il y a lieu, aux autorités compétentes en matière de sécurité sont notamment les suivants :

- a) Perte du contrôle d'une source de rayonnements, y compris à la suite d'un vol ;
- b) Expositions accidentelles aux rayonnements ;
- c) Accès à une source ou utilisation de celle-ci sans autorisation ;
- d) Défaillances d'équipements contenant des sources qui sont susceptibles d'influer sur la sûreté ou la sécurité ;
- e) Découverte d'une source non comptabilisée.

2.17. Ces rapports devraient permettre à l'organisme de réglementation de conserver la trace des sources et faciliter l'identification et la récupération des sources perdues.

3. ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

3.1. Les titulaires d'enregistrements ou de licences devraient effectuer des évaluations de la sûreté pour les sources dont ils sont responsables. L'évaluation de la sûreté initiale est le principal outil permettant de déterminer les mesures de protection à mettre en place, et tous les paramètres qui ont une incidence sur la radioprotection et la sûreté des sources devraient être examinés. D'autres évaluations de la sûreté sont effectuées ultérieurement pour confirmer que les mesures de sûreté continuent de satisfaire aux normes fixées ou pour indiquer les améliorations éventuellement nécessaires. Au paragraphe 2.37 des NFI, il est précisé que :

« Des évaluations de la sûreté portant sur les mesures de protection et de sûreté relatives aux sources associées à des pratiques sont effectuées à différents stades, notamment lors du choix du site, de la conception, de la fabrication, de la construction, de l'assemblage, de la mise en service, de l'exploitation, de l'entretien et du déclassement, selon le cas, afin :

- a) de déterminer comment des expositions normales et potentielles pourraient être subies, compte tenu des effets d'événements extérieurs aux sources ainsi que d'événements mettant directement en cause les sources et les équipements qui leur sont associés ;
- b) d'établir la valeur prévisible des expositions normales et, dans la mesure où cela est raisonnablement possible, d'estimer la probabilité et la valeur des expositions potentielles ;
- c) d'évaluer la qualité et l'étendue des dispositions de protection et de sûreté. »

3.2. L'évaluation a pour objectif principal de vérifier si les mesures de protection et de sûreté prévues ou existantes sont adaptées et de déterminer les mesures supplémentaires qui devraient être mises en place. Elle devrait donc

prendre en considération aussi bien les conditions d'utilisation habituelles de la source que la probabilité et l'ampleur des expositions pouvant résulter d'accidents ou d'incidents. Lorsqu'il ressort de l'évaluation que l'hypothèse d'un accident touchant les travailleurs ou le public ou ayant des conséquences sur l'environnement est réaliste, le titulaire d'enregistrement ou de licence devrait établir un plan d'urgence approprié.

3.3. Le paragraphe 2.13 c) des NFI [17] demande que la personne physique ou morale (la partie principale) qui demande une autorisation à l'organisme de réglementation "détermine la nature, la valeur et la probabilité des expositions imputées à la source et [prenne] toutes les mesures nécessaires pour la protection et la sûreté tant des travailleurs que du public". Cette évaluation devrait toujours être réalisée par la partie principale même lorsqu'il s'agit de la sûreté de sources classées dans les catégories de risques les plus basses et utilisées pour des applications courantes. Les évaluations de la sûreté peuvent être spécifiques à une installation ou génériques. Les évaluations génériques concernent l'ensemble des sources et/ou dispositifs d'un modèle particulier. Elles peuvent être utilisées pour des types de sources présentant un haut degré d'uniformité du point de vue de la conception et être mises à la disposition du titulaire d'enregistrement ou de licence par le fabricant ou le fournisseur (des indications supplémentaires concernant la fabrication sont fournies dans la section 4). Une telle évaluation pourrait par exemple être disponible pour un modèle particulier de jauge industrielle. Cependant, il pourra être nécessaire de compléter l'évaluation générique de sûreté par une évaluation de la sûreté spécifique au site portant par exemple sur l'implantation de la source et l'adéquation de son blindage. Lorsque aucune évaluation générique de sûreté n'est disponible, une évaluation spécifique de sûreté complète devrait être effectuée.

3.4. La partie principale peut également réaliser une évaluation générique en mettant à profit l'expérience issue de l'exploitation de sources similaires. Une telle évaluation serait indiquée lorsque la partie principale détient déjà une autorisation pour plusieurs sources similaires sur le site, mais il se peut quand même qu'il faille la compléter par des informations supplémentaires concernant des questions spécifiques au lieu d'implantation.

3.5. Le paragraphe 2.13 d) des NFI [17] prescrit en outre que "si l'exposition peut être supérieure à tout niveau spécifié par l'organisme de réglementation, [il est procédé] à une évaluation de la sûreté qui est jointe à la demande [d'autorisation] présentée à l'organisme de réglementation". Cette prescription permet à l'organisme de réglementation de spécifier les situations dans

lesquelles un rapport d'évaluation de la sûreté devra être présenté dans le cadre du processus d'examen d'une demande d'autorisation. Dans ce cas, la partie principale devrait réaliser une évaluation spécifique de la situation particulière considérée. La présentation d'évaluations de la sûreté à l'organisme de réglementation serait notamment indiquée pour les demandes d'autorisation concernant les installations d'irradiation ou de radiographie industrielles et les installations de radio oncologie.

3.6. Une évaluation de la sûreté devrait être effectuée avant que la source ne soit réceptionnée sur le site ou mise en service normal afin de laisser le temps de prendre les mesures de protection et de sûreté nécessaires. Une nouvelle évaluation de la sûreté ne s'impose pas lorsqu'il s'agit de remplacer ou de réapprovisionner une source, mais il peut être nécessaire d'évaluer le processus de remplacement.

Méthodologie d'évaluation de la sûreté

3.7. Les paragraphes IV.3 à IV.7 de l'appendice IV des NFI [17] fixent les prescriptions suivantes pour la réalisation d'une évaluation de la sûreté :

« IV.4. L'évaluation de la sûreté comporte, s'il y a lieu, une analyse critique systématique :

- a) de la nature et de la valeur des expositions potentielles ainsi que de la probabilité de celles-ci ;
- b) des limites et conditions techniques d'exploitation pour la source ;
- c) de la façon dont les structures, systèmes, composants et procédures liés à la protection ou à la sûreté pourraient subir des défaillances, isolément ou conjointement, ou entraîner de toute autre manière des expositions potentielles, ainsi que des conséquences de ces défaillances ;
- d) de la façon dont des modifications de l'environnement pourraient influencer sur la protection ou la sûreté ;
- e) des erreurs que pourraient comporter les procédures d'exploitation liées à la protection ou à la sûreté et des conséquences de ces erreurs ;
- f) des incidences de modifications proposées sur la protection et sur la sûreté.

IV.5. Dans l'évaluation de la sûreté, le titulaire d'enregistrement ou de licence prend en compte, s'il y a lieu :

- a) les facteurs qui pourraient provoquer brusquement le rejet de grandes quantités d'une substance radioactive quelconque, les mesures disponibles pour prévenir ou maîtriser un tel rejet et l'activité maximale de toute substance radioactive qui, en cas de défaillance majeure du confinement, pourrait être rejetée dans l'atmosphère ;
- b) les facteurs qui pourraient provoquer brusquement un rejet moindre mais prolongé d'une substance radioactive quelconque et les mesures disponibles pour prévenir ou maîtriser un tel rejet ;
- c) les facteurs qui pourraient donner lieu à la mise en fonction non intentionnelle d'un faisceau de rayonnements et les mesures disponibles pour prévenir, déceler et maîtriser de tels événements ;
- d) la mesure dans laquelle la redondance et la diversité des dispositifs de sûreté — ceux-ci étant indépendants les uns des autres de façon que la défaillance de l'un d'entre eux n'entraîne pas la défaillance d'un autre — sont appropriées si l'on veut restreindre la probabilité et la valeur des expositions potentielles.

IV.6. L'évaluation de la sûreté est documentée et, le cas échéant, analysée de façon indépendante dans le cadre du programme pertinent d'assurance de la qualité. D'autres analyses sont effectuées, selon les besoins, afin de s'assurer que les spécifications techniques ou les conditions d'emploi sont toujours respectées lorsque :

- a) des modifications importantes de la source, de l'installation associée ou de ses procédures d'exploitation ou d'entretien sont envisagées ;
- b) l'expérience d'exploitation, ou d'autres informations sur les accidents, défaillances, erreurs ou autres événements susceptibles d'entraîner des expositions potentielles, donnent à penser que la dernière évaluation pourrait ne plus être valable ;
- c) des modifications importantes des activités ou des modifications pertinentes des principes directeurs ou des normes sont envisagées ou ont été apportées.

IV.7. Si, à la suite d'une évaluation de la sûreté ou pour toute autre raison, il semble possible et souhaitable d'améliorer les mesures de protection et de sûreté prises pour une source associée à une pratique, toute modification qui en résulte est apportée avec précaution et seulement après une évaluation favorable de toutes ses incidences en matière de protection et de sûreté ; lorsque ces améliorations ne peuvent pas être toutes apportées, ou l'être toutes en même temps, un ordre de

priorité est établi entre elles de façon que les améliorations de la protection ou de la sûreté obtenues soient optimales. »

3.8. Il convient de souligner qu'il a été constaté dans la pratique que des facteurs humains tels que le manque de formation ou l'inobservation des consignes d'exploitation et des clauses des licences sont les principaux facteurs qui contribuent à la survenue d'accidents et de surexpositions. Une attention particulière devrait donc être accordée, dans les évaluations de la sûreté, aux risques d'erreurs humaines et aux conséquences de ces erreurs.

Approche graduée

3.9. La portée et le niveau de détail que doit présenter l'évaluation de la sûreté dépendent beaucoup de la pratique considérée. L'ampleur de la tâche sera fonction de l'importance pour la sûreté des activités faisant l'objet de l'évaluation ainsi que de la maturité et de la complexité de la technologie impliquée et de ses antécédents en matière de sûreté. La considération principale est que l'évaluation de la sûreté devrait être appropriée et suffisante pour déterminer de façon adéquate les mesures de protection et de sûreté qu'exige une pratique donnée¹².

3.10. Comme il est indiqué dans le tableau 1, l'AIEA a mis au point un système de catégorisation pour les sources radioactives d'emploi courant [23] qui distingue cinq catégories différentes de sources en fonction du niveau de risque que celles-ci présentent : la catégorie 1 correspondant à celles qui sont potentiellement les plus dangereuses et la catégorie 5 à celles qui présentent le moins de danger. Les sources des catégories 1 à 3 sont généralement susceptibles, si elles ne sont pas contrôlées de façon appropriée, d'entraîner une exposition suffisante pour provoquer des effets déterministes graves¹³.

3.11. Ce système de catégorisation des sources radioactives peut être utilisé comme point de départ pour déterminer la portée de l'évaluation de la sûreté requise pour une pratique donnée. L'évaluation de la sûreté pour les sources d'usage courant classées dans les catégories 4 ou 5 sera en général relativement simple et pourra comprendre des informations génériques communiquées par le fournisseur en ce qui concerne les doses et les systèmes de sûreté. Les

¹² Une publication de la catégorie « Prescriptions de sûreté » de l'AIEA consacrée à l'évaluation et à la vérification de la sûreté est en cours d'élaboration.

¹³ Un effet déterministe grave est un effet qui entraîne ou risque d'entraîner la mort ou qui se traduit par un préjudice corporel permanent qui diminue la qualité de vie [23].

caractéristiques locales (par exemple l'accès, le blindage et la fréquence d'utilisation) devraient également être prises en considération dans l'évaluation.

3.12. Dans le cas des générateurs de rayons X et des accélérateurs de particules, il n'existe pas de système international officiel de catégorisation par rapport aux risques. Les générateurs de rayons X présentent un système intrinsèque de protection contre les utilisations abusives dans la mesure où ils ne produisent pas de rayons X lorsqu'ils sont hors tension (voir toutefois la note 15). La principale utilisation abusive dont il faut tenir compte dans une évaluation de la sûreté est sans doute la mise en route non autorisée d'un générateur laissé sans surveillance par l'opérateur. Le recours à des modèles de générateurs approuvés et à des dispositifs de sûreté comprenant des verrous et des codes d'accès et de mise en route devrait permettre de réduire les risques au minimum. Toutefois, l'éventail des puissances et des systèmes de contrôle des générateurs étant très large, le niveau de risque correspondant à la situation considérée devrait être pris en compte dans l'évaluation de la sûreté.

3.13. Des informations concernant toutes les mesures administratives et techniques prévues ou mises en place dans l'installation pour maintenir les doses individuelles à un niveau faible devraient être examinées dans le cadre de l'évaluation de la sûreté en fonctionnement normal. En particulier, il faudrait montrer que les dispositions prises en matière de protection, par exemple le blindage ou les procédures de maintenance nécessaires, satisfont aux prescriptions relatives à l'optimisation de la protection.

3.14. Une évaluation de la sûreté complète devrait être effectuée pour les sources qui produisent des champs de rayonnement intenses, comme celles utilisées en radiographie industrielle, les autres sources des catégories 1, 2 et 3 et les accélérateurs de particules, étant donné leur forte capacité potentielle d'entraîner des expositions élevées ayant des conséquences graves, voire mortelles. Il faudrait procéder, dans le cadre de l'évaluation, à un examen des scénarios d'exposition envisagés afin de s'assurer que les dispositifs de sûreté, tels que les barrières et les systèmes de verrouillage, sont adéquats. Pour réaliser l'évaluation, on peut utiliser aussi bien des méthodes et des outils d'évaluation qualitative simples que des méthodes et des outils d'évaluation déterministe et probabiliste. Le niveau de détail et de rigueur de l'évaluation de la sûreté d'une source devrait être proportionnel au risque que celle-ci présente. Les évaluations probabilistes ou autres du risque de défaillance du matériel devraient être complétées par une évaluation appropriée du risque d'erreur humaine.

TABLEAU 1. CATÉGORIES RECOMMANDÉES POUR LES SOURCES RADIOACTIVES D'USAGE COURANT

Catégorie	Source et/ou utilisation	Ratio A/D^a
1	Générateurs thermoélectriques radioisotopiques Irradiateurs Téléthérapie Source fixes utilisées en téléthérapie multifaisceaux (gamma knife)	$A/D \geq 1000$
2	Sources de gammagraphie industrielle Sources de curiethérapie à débit de dose élevé/moyen	$1000 > A/D \geq 10$
3	Jauges industrielles fixes comprenant des sources de haute activité Sondes de diagraphie	$10 > A/D \geq 1$
4	Curiethérapie à faible débit de dose (sauf plaques ophtalmiques et implants permanents) Jauges industrielles ne comprenant pas de sources de haute activité Densitomètres osseux Élimination des charges statiques	$1 > A/D \geq 0.01$
5	Curiethérapie à faible débit de dose : plaques ophtalmiques et implants permanents Dispositifs à fluorescence X (XRF) Dispositifs à capture d'électrons sources de spectrométrie Mossbauer Sources de référence pour la tomographie à émission de positons (PET)	$0.01 > A/D$ <i>et</i> $A >$ niveau d'exemption ^b

a Ce système de catégorisation est fondé sur le concept de 'source dangereuse', qui est quantifié par la valeur D . La valeur D est l'activité spécifique des radionucléides d'une source qui, si elle n'est pas maîtrisée, peut entraîner des effets déterministes graves dans un certain nombre de scénarios. Pour de plus amples informations sur la façon de déterminer les valeurs A/D , voir la réf. [23].

b Les niveaux d'exemption sont indiqués dans l'appendice complémentaire I des NFI [17].

3.15. Certaines indications sont données dans l'annexe II au sujet des méthodes d'évaluation probabiliste de sûreté. Il peut être nécessaire de procéder à une évaluation de ce type si une défaillance du matériel risque d'avoir des conséquences radiologiques importantes. Les évaluations probabilistes devraient avoir pour objet d'indiquer le niveau de sûreté qu'il est possible d'atteindre dans une installation et les améliorations qu'il peut être nécessaire d'apporter. Elles devraient permettre de répondre aux trois questions suivantes :

- a) Quels problèmes peuvent se poser?
- b) Quelle en est la probabilité?
- c) Quelles en seraient les conséquences pour la sûreté?

En fonction des réponses, l'évaluation devrait pouvoir fournir les informations nécessaires pour élaborer et mettre en œuvre un système de sûreté efficace pour la source.

Réexamens de l'évaluation de la sûreté

3.16. L'évaluation de la sûreté devrait être tracée dans des documents et être réexaminée chaque fois que :

- a) La sûreté risque d'être compromise ou réduite à la suite de modifications apportées à l'installation ou aux procédures ;
- b) L'expérience d'exploitation ou les enquêtes effectuées à la suite d'accidents ou d'erreurs montrent qu'un tel réexamen est nécessaire ; ou
- c) Des modifications importantes des directives ou des normes applicables ont été apportées ou sont envisagées.

Toute modification apportée en conséquence devrait l'être avec prudence et uniquement après une analyse appropriée de toutes ses incidences pour la protection et la sûreté.

3.17. Les dispositions concernant la radioprotection et la sûreté des sources devraient également faire l'objet d'audits périodiques, de préférence dans le cadre du programme de gestion de la qualité mis en place dans l'installation. Les conclusions de ces audits peuvent également amener à modifier les dispositions en matière d'évaluation de la sûreté et de radioprotection.

3.18. L'organisme de réglementation peut demander que l'évaluation de la sûreté fasse l'objet d'un audit indépendant s'il le juge nécessaire, ou il peut l'examiner lui-même.

Utilisation d'évaluations génériques de sûreté par l'organisme de réglementation

3.19. L'organisme de réglementation devrait bien connaître les risques d'exposition que présentent différentes pratiques, afin de pouvoir à la fois déterminer les domaines appelant la plus grande attention et examiner les demandes d'autorisation. Il peut acquérir cette connaissance de diverses

façons. Pour certaines applications, l'organisme de réglementation devrait exiger que les demandes d'autorisation soient accompagnées d'une évaluation de la sûreté. Cela lui permet d'obtenir des informations utiles pour son examen. L'organisme de réglementation peut aussi réaliser des évaluations génériques de sûreté pour ses propres besoins. Cette solution lui permet de se constituer une bonne base de connaissances concernant un large éventail de pratiques. L'organisme de réglementation peut également, pour déterminer si une application est adaptée, se fonder sur une évaluation de la sûreté réalisée par une autre partie, par exemple un autre organisme de réglementation ou le fabricant de la source. Cependant, la responsabilité de procéder à une évaluation de la sûreté pour chaque pratique continue d'incomber aux titulaires d'enregistrements ou de licences et non à l'organisme de réglementation. En outre, seul le titulaire d'enregistrement ou de licence peut faire en sorte que des informations propres au site soient prises en compte dans l'évaluation.

3.20. Afin d'utiliser au mieux les ressources, l'organisme de réglementation devrait classer ses activités par ordre de priorité afin de concentrer l'essentiel de ses efforts sur les sources de rayonnements qui présentent les risques radiologiques les plus élevés. Des évaluations génériques de sûreté concernant les risques radiologiques résultant des diverses pratiques fourniront les informations nécessaires pour déterminer celles sur lesquelles il faudrait concentrer l'attention. Les catégories recommandées dans le tableau I constituent un classement initial utile à cet effet.

3.21. L'évaluation générique de sûreté devrait traiter les questions concernant la sûreté et ses interactions avec la sécurité qui peuvent se poser à chacune des phases de la vie de la source (distribution, installation, mise en service, utilisation, maintenance et évacuation). Il faudrait déterminer les risques de dommages corporels ou de contamination radioactive graves imputables à d'éventuels accidents, et les probabilités pour que de tels accidents surviennent et leurs conséquences. Pour déterminer les priorités, il faudrait notamment examiner la façon dont les règles ont été respectées dans le passé et les informations concernant tout accident qui a pu se produire.

3.22. Les points à prendre en considération lorsque l'on procède à l'évaluation initiale de sources de rayonnements afin de les classer en fonction du risque radiologique qu'elles présentent sont notamment les suivants :

- a) Dans le cas d'une source scellée, les caractéristiques intrinsèques de la source telles que la quantité de matière radioactive et le rayonnement

- émis, la période radioactive, la propension de la matière radioactive à se disperser et les caractéristiques physiques et chimiques de la source ;
- b) Dans le cas des générateurs de rayonnements, l'intensité du rayonnement émis ;
 - c) Divers aspects se rapportant à la pratique considérée tels que le blindage, les dispositifs et les conditions d'utilisation (par exemple, la source reste-t-elle dans un conteneur blindé ou est-elle retirée de ce conteneur lorsqu'elle est utilisée ?) et les caractéristiques du site (par exemple, la source est-elle utilisée sur le terrain ou dans une installation fixe ?).

Autorisation

3.23. L'AIEA a publié plusieurs ouvrages indiquant comment utiliser les sources de rayonnements dans de bonnes conditions de sûreté et de sécurité pour différentes pratiques [19, 20, 24–32]. Il conviendrait de consulter ces ouvrages lorsqu'on réalise une évaluation de la sûreté ou on met en place un système de radioprotection. D'autres ouvrages de l'AIEA fournissent, en ce qui concerne certaines pratiques, des listes des points à prendre en considération lors de l'autorisation des applications et la réalisation des inspections par l'organisme de réglementation [33, 34].

3.24. L'autorisation délivrée par l'organisme de réglementation devrait être fondée sur le résultat de l'évaluation de la sûreté concernant la source, qu'il s'agisse d'une évaluation générique que cet organisme a réalisée lui-même ou qui a été fournie par le demandeur, ou d'une évaluation spécifique présentée par ce dernier. L'autorisation devrait, s'il y a lieu, s'appliquer à chaque phase de la vie d'une source, afin que des dispositions adéquates en matière de radioprotection soient constamment en place. Dans tous les cas, l'organisme de réglementation devrait être attentif à la question de la fin de vie des sources, phase au cours de laquelle celles-ci risquent d'échapper au contrôle réglementaire si elles ne sont plus comptabilisées. En particulier, les solutions envisageables pour la gestion des sources retirées du service devraient être définies avant de délivrer toute autorisation.

3.25. Les pratiques qui se prêtent à une évaluation générique de sûreté peuvent être autorisées par voie d'enregistrement. Les autres pratiques devraient être autorisées dans le cadre d'une procédure d'octroi de licence ([17], par. 2.11 et 2.12).

INTERACTIONS ENTRE LA SÛRETÉ ET LA SÉCURITÉ

3.26. Il faudrait prêter attention aussi bien à la sûreté qu'à la sécurité dans les évaluations de la sûreté. Diverses mesures visant à garantir la sûreté, par exemple l'utilisation de verrous et de détecteurs de rayonnements, assurent également un certain degré de protection contre la perte d'une source ou les tentatives visant à en prendre le contrôle. De même, les mesures visant à prévenir l'accès non autorisée aux sources contribueront à la sûreté en réduisant le risque d'utilisation abusive. À l'inverse, il se peut par exemple que des mesures ayant pour objet de restreindre l'accès nuisent à la sûreté. Les aspects sûreté et sécurité devraient être examinés ensemble afin d'éviter le risque que l'un ne fasse passer l'autre au second plan.

3.27. Des évaluations de sécurité sont nécessaires pour faire en sorte qu'aucune personne qui chercherait délibérément et par malveillance à provoquer une exposition ou un dommage ne puisse accéder à une source. Cet aspect de la sécurité des sources n'entre pas dans le champ d'application du présent guide ; des indications complémentaires sont fournies dans d'autres publications de l'AIEA (par exemple, dans les réf. [19] et [20]).

4. CONCEPTION, FABRICATION ET UTILISATION DES SOURCES DE RAYONNEMENTS ET CONCEPTION ET EXPLOITATION DES INSTALLATIONS

4.1. Diverses questions concernant la sûreté et la sécurité d'une source de rayonnements peuvent se poser à chacune des phases de la vie de cette source, telles que la distribution, l'installation, l'utilisation, la maintenance et l'évacuation. La figure 1 indique les phases les plus importantes. L'ampleur des mesures de sûreté devrait être en rapport avec la pratique particulière pour laquelle la source est utilisée et les dangers potentiels révélés par les évaluations de la sûreté.

4.2. Bien que le diagramme ne le montre pas expressément, une source de rayonnement est susceptible d'être transportée pendant ou entre toutes les phases de sa vie, et il convient de suivre les recommandations figurant aux paragraphes 4.27 à 4.34.

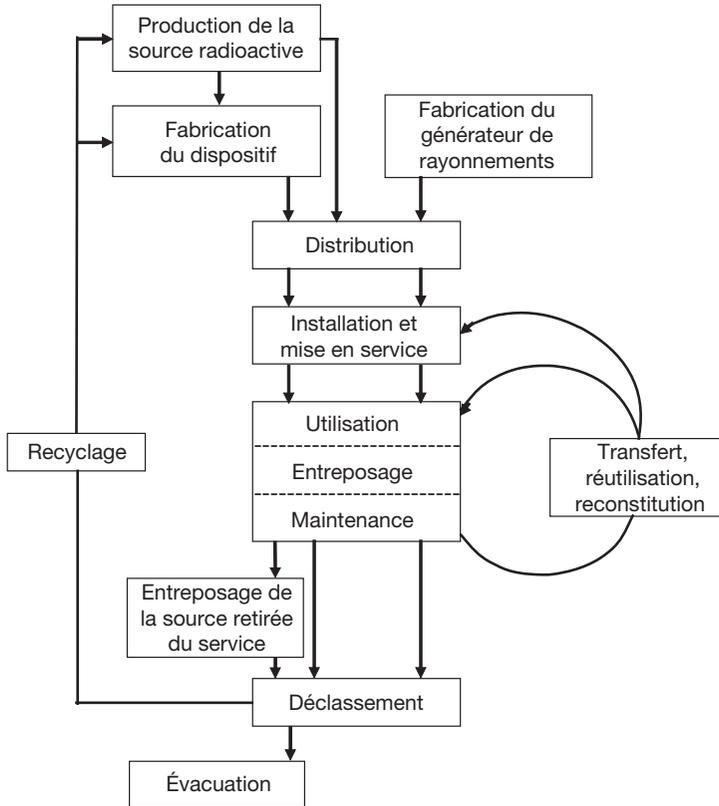


FIG. 1. Vie d'une source de rayonnements. La distribution peut comprendre l'importation et l'exportation.

CONCEPTION ET FABRICATION DES SOURCES

4.3. Pour garantir un niveau de sûreté optimal, il est essentiel que les sources de rayonnements soient bien conçues et que leur qualité de fabrication soit élevée. Il est précisé dans l'appendice IV des NFI [17] que :

« IV.8. Les titulaires d'enregistrements ou de licences, en collaboration expresse avec les fournisseurs, veillent à ce que les responsabilités suivantes soient assumées, s'il y a lieu :

- a) livrer une source bien conçue et bien construite qui :

- i) assure la protection et la sûreté conformément aux Normes [c'est-à-dire aux NFI] ;
 - ii) soit conforme aux spécifications techniques, fonctionnelles et de performance ;
 - iii) soit conforme à des normes de qualité en rapport avec l'importance des composants et des systèmes pour la protection et la sûreté ;
- b) veiller à ce que les sources fassent l'objet d'essais pour démontrer qu'elles sont conformes aux spécifications pertinentes ;
- c) tenir à disposition, dans une des principales langues en usage dans le monde qui soit acceptable pour l'utilisateur, des informations concernant l'installation et l'utilisation correctes de la source ainsi que les risques qui y sont associés.

« IV.9. En outre, s'il y a lieu, les titulaires d'enregistrements ou de licences prennent des dispositions appropriées avec les fournisseurs de sources afin :

- a) d'instituer et de maintenir des mécanismes pour que les fournisseurs obtiennent des titulaires d'enregistrements et de licences ou d'autres utilisateurs des informations sur l'emploi des sources, leur entretien, l'expérience d'exploitation les concernant, leur démantèlement et leur évacuation, ainsi que dans toutes les conditions particulières d'exploitation, normales et anormales, qui peuvent être importantes pour la protection des individus et la sûreté des sources ;
- b) d'instituer et de maintenir un mécanisme pour leur transmettre des informations qui peuvent avoir des incidences en matière de protection ou de sûreté pour d'autres titulaires d'enregistrements ou de licences ou pour des améliorations futures de la protection ou de la sûreté dans la conception de leurs produits.

« IV. 10. Les systèmes et composants des sources qui sont liés à la protection ou à la sûreté sont conçus, construits, exploités et entretenus de manière à prévenir, autant que possible, les accidents et, d'une manière générale, à réduire aux niveaux les plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de considérations sociales et économiques, la valeur et la probabilité d'une exposition des travailleurs et des personnes du public. »

Fabrication et production — considérations générales

4.4. Les producteurs et les fournisseurs de générateurs de rayonnements et de sources radioactives ont pour responsabilité de veiller à la sûreté d'utilisation de leurs produits, en particulier au stade de la conception et de la fabrication. Des mesures de contrôle devraient être prises pendant la fabrication pour assurer la sécurité physique des sources et faire en sorte qu'elles soient produites et expédiées de façon sûre. Dans le cas des sources radioactives, le processus de production consiste habituellement à irradier la matière cible, puis à la traiter et à l'expédier au fabricant de sources. Les générateurs de rayonnements ne présentent pas en principe de risque radiologique tant qu'ils ne sont pas mis sous tension. Les fournisseurs devraient initier le processus documentaire permettant l'identification effective des sources et des dispositifs pendant toute leur durée de vie. Les fabricants devraient également fournir une documentation appropriée qui permette à l'utilisateur final d'exploiter la source de façon sûre.

4.5. Les sources scellées, les dispositifs de confinement et les générateurs de rayonnements sont généralement conçus et fabriqués conformément à des normes nationales ou internationales qui spécifient notamment la nature du conditionnement et les caractéristiques de performance requises [35, 36]. Ces normes fixent notamment des critères de performance et de sûreté visant à assurer une exploitation sûre et efficace.

4.6. La fabrication des sources scellées, des dispositifs de confinement et des générateurs de rayonnements devrait également être soumise à des exigences en matière de gestion de la qualité telles que celles de la norme ISO 9001 [37 à 39]. L'application effective de procédures de gestion de la qualité permet d'assurer que les caractéristiques de sûreté prévues au stade de la conception soient reproduites de façon uniforme lors de la fabrication.

4.7. Certaines sources sont conçues et fabriquées de telle sorte que leur conteneur serve également de conteneur (colis) de transport. Les sources de ce type contenant des matières radioactives sous forme spéciale sont conçues de manière à ne pas se disperser dans les situations pouvant résulter d'éventuels accidents de transport, et leur conteneurs sont soumis à des essais thermiques et de résistance aux chocs rigoureux. Pour les pratiques qui nécessitent le transport fréquent de sources, comme la radiographie de terrain, des matières sous forme spéciale devraient être exigées afin de se conformer au Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA (le Règlement de transport) [40].

4.8. Certains fabricants indiquent également quelle est la durée de vie recommandée des sources, c'est-à-dire la durée pendant laquelle elles sont censées conserver leur intégrité. Pour spécifier la durée de vie utile recommandée, il est tenu compte de la nature de la matière radioactive, de sa période radioactive et de son conditionnement. Une source dont la durée de vie utile recommandée est dépassée devrait être inspectée par le fabricant ou par un organisme compétent afin de s'assurer qu'elle a conservé son intégrité. L'organisme de réglementation peut autoriser le maintien en service de sources dont la durée de vie utile est dépassée, sous réserve qu'il soit confirmé qu'elles ont conservé leur intégrité.

Fabrication et production de sources radioactives

4.9. Pour que les sources scellées puissent être fabriquées de façon sûre et que leur sécurité physique soit maintenue, il faudrait au minimum prévoir, s'il y a lieu :

- a) Des systèmes de protection (blindage) permettant le traitement sûr des matières radioactives et empêchant l'accès involontaire à ces matières. L'intégrité des barrières devrait être en rapport avec la catégorie de sources scellées considérée. S'agissant des sources de haute activité, l'application du concept de défense en profondeur et notamment le recours à des systèmes redondants devraient être envisagés, et cela sera généralement exigé dans le cadre du processus de fabrication.
- b) Des mesures visant à signaler la présence de matières radioactives. Le plus souvent, il s'agit de panneaux et de signaux d'avertissement placé à l'extérieur de la zone ou de la pièce où la source doit être utilisée [41].
- c) Des mesures permettant d'entreposer les matières en cours de traitement et les produits finis de telle sorte que seules les personnes autorisées puissent y avoir accès.
- d) Une vérification périodique du stock de matières.

4.10. Il est essentiel, afin de pouvoir en suivre la trace, que chaque source scellée comporte une marque d'identification unique. Une marque permanente devrait être apposée sur les sources scellées finies. Dans le cas des sources de petite taille, cela peut être difficile, étant donné que l'espace disponible ne permet pas de fournir beaucoup d'informations, mais les marques ou les étiquettes devraient indiquer au moins un numéro de série unique. L'information fournie devrait être conforme aux normes internationales reconnues. Par exemple, la norme ISO 2919 [35] établit un classement hiérarchique des indications à fournir, la plus importante étant la mention

'radioactif' ou l'apposition du trèfle radioactif, puis le nom du fabricant, le numéro de série de la source, le nombre de masse et le symbole chimique du radionucléide et, dans le cas des sources de neutrons, l'élément cible.

4.11. Le fabricant devrait vérifier que la source radioactive ne présente pas de fuite et est exempte de contamination en procédant à des tests conformes aux normes internationales, par exemple la norme ISO 9978 [36]. Un certificat indiquant l'activité de la source et attestant que celle-ci ne présente pas de fuite, avec indication des dates auxquelles cela a été vérifié, devrait être fourni à l'acheteur de la source, étant entendu que l'on doit pouvoir établir que ce certificat se rapporte à cette source.

4.12. Le fabricant devrait mettre durablement en place des procédures pour faire en sorte que la source scellée soit correctement confinée ou emballée et qu'elle soit transportée conformément aux prescriptions régissant le transport des matières radioactives. Il devrait notamment prévoir des mesures de contrôle pour veiller à ce que le contenu du colis corresponde aux informations fournies dans les documents d'expédition.

4.13. Le fournisseur devrait mettre durablement en place des procédures qui permettent de contrôler les documents concernant le contenu de la source, ses données d'identification et l'acheteur initial. Ces procédures devraient notamment inclure une description des documents applicables et les méthodes d'indexation, d'entreposage, de maintenance et d'évacuation.

Fabrication et production de dispositifs contenant des sources radioactives

4.14. Les dispositifs contenant des sources scellées comprennent normalement un blindage destiné à limiter l'exposition aux rayonnements. Pour en garantir l'utilisation sûre et la sécurité, il faudrait prévoir au minimum¹⁴, s'il y a lieu, au stade de la conception de ces dispositifs :

- a) Des mesures permettant de contrôler l'accès à la source à l'intérieur du dispositif. Il peut s'agir par exemple de mécanismes de verrouillage, d'interverrouillage ou d'obturation. Il faudrait veiller tout particulièrement à assurer la sécurité de la source dans son confinement.

¹⁴ Des indications supplémentaires concernant la sûreté de ces dispositifs seront fournies dans d'autres publications de l'AIEA actuellement en cours d'élaboration, et il est prévu de publier à part des indications concernant la prise en compte des objectifs en matière de sécurité au stade de la conception et de la fabrication des sources.

- b) Des mesures visant à signaler de façon appropriée la présence de matières radioactives, généralement au moyen d'étiquettes, de panneaux et de signaux d'avertissement [41].
- c) Des mesures permettant d'identifier correctement un dispositif vide comprenant un blindage en uranium appauvri et d'en contrôler l'accès.
- d) Des vérifications périodiques du stock de matière.
- e) Des essais d'étanchéité périodiques.

4.15. La conception des dispositifs devrait être conforme aux normes nationales et internationales telles que la norme ISO 3999 relative aux appareils de gammagraphie industrielle [42]. Ces normes prescrivent généralement le recours à des mécanismes de verrouillage ou d'interverrouillage et à des dispositifs de fermeture inviolables pour empêcher l'exposition involontaire à la source. Des indications complémentaires concernant les dispositifs utilisés pour certaines pratiques sont fournies dans d'autres publications de l'AIEA et de l'ISO, par exemple la norme ISO 7205 concernant les jauges à radioéléments [43].

4.16. Il faudrait apposer sur les dispositifs finis une marque permanente conformément aux normes nationales et internationales. Cette marque devrait notamment comprendre un numéro de série unique et indiquer le radionucléide contenu ainsi que son activité et la date à laquelle celle-ci a été déterminée. Il peut s'agir par exemple de plaques d'identification apposées de façon permanente sur le dispositif et d'étiquettes d'identification de la source qui sont remplacées lorsque celle-ci est remplacée. Les étiquettes devraient permettre à l'utilisateur de garder la trace du dispositif et des sources qu'il contient pendant l'utilisation et la maintenance.

Fabrication et production de générateurs de rayonnements

4.17. Les générateurs de rayonnements comprennent normalement un blindage destiné à limiter l'exposition et ne présentent pas de risque radiologique tant qu'ils ne sont pas assemblés en un lieu où ils peuvent être mis sous tension. Une fois que l'appareil est en mesure de produire des rayonnements¹⁵, les dispositions suivantes devraient notamment être prises, s'il y a lieu, pour en garantir l'utilisation sûre :

¹⁵ Il faudrait également tenir compte de la présence possible d'un 'courant d'obscurité' (lorsque la tension anodique reste élevée alors que l'alimentation électrique de la source d'électrons est coupée) et, s'agissant des accélérateurs de particules de haute énergie, du risque d'activation de leurs composants.

- a) Mesures visant à contrôler l'accès au générateur et dispositifs (de fermeture à clef, par exemple) destinés à empêcher qu'il ne soit mis en route involontairement ou par une personne non autorisée ;
- b) Mesures visant à signaler la présence d'une source de rayonnements, généralement au moyen de panneaux ;
- c) Signaux d'avertissement (visuels et sonores) indiquant que le dispositif est en fonctionnement ;
- d) Vérification périodique du stock de générateurs.

4.18. Le fabricant de générateurs de rayonnements devrait mettre en place un système permettant d'identifier avec certitude le générateur. Un numéro de modèle et de série unique devrait être apposé de façon permanente sur les générateurs et ceux-ci devraient être conçus conformément aux normes nationales et internationales.

UTILISATION DES SOURCES ET CONCEPTION ET EXPLOITATION DES INSTALLATIONS

4.19. Conformément aux prescriptions en matière de gestion et aux prescriptions techniques des NFI [17] (en particulier celles énoncées aux paragraphes 2.36 et 2.37) et aux prescriptions détaillées de l'appendice IV (Exposition potentielle : sûreté des sources), les titulaires d'enregistrements et de licences devraient veiller à ce que les installations soient conçues et les sources utilisées de manière à optimiser la radioprotection. Dans le cadre de l'évaluation de la sûreté, les titulaires d'enregistrements et de licences devraient déterminer la capacité potentielle des sources à entraîner des expositions supérieures aux niveaux prévus lors de la conception ou spécifiés par l'organisme de réglementation, ainsi que l'ampleur et les conséquences de telles expositions. Ils devraient se tenir prêts à prendre toute mesure nécessaire pour faire face et remédier à tout incident ou accident d'exploitation prévisible mettant en jeu une source. Différents types d'accidents ainsi que les situations qui les ont provoqués ont été décrits dans plusieurs rapports de sûreté de l'AIEA : les références [2] à [4] concernent des installations industrielles d'irradiation, les références [8] et [9] la radiographie industrielle et les références [1] et [6], la radiothérapie. Les accidents imputables à des sources utilisées en radiothérapie et se traduisant par l'administration aux patients de doses de rayonnements incorrectes peuvent résulter soit d'une défaillance du matériel, soit d'une erreur humaine. Ces types d'accidents ne sont pas de même nature que ceux ayant résulté d'une perte de contrôle de la source.

4.20. Toute personne qui utilise une source de rayonnements ou qui travaille à proximité devrait être dûment formée au respect des prescriptions applicables à la source de rayonnements ou à l'installation concernée en matière de sûreté radiologique et de sécurité des sources. Son niveau de formation devrait être adapté à la catégorie de la source de rayonnement et aux tâches et activités associées qui lui incombent. Le niveau de formation des utilisateurs en matière de sûreté radiologique devrait être conforme à ce que prescrit l'organisme de réglementation pour la pratique ou le domaine d'utilisation considérés [44, 45].

Mesures de contrôle de nature technique

4.21. Des mesures de contrôle devraient être mises en place pour empêcher l'accès par inadvertance ou sans autorisation aux sources. Le contrôle de l'accès peut être assuré grâce à une combinaison de mesures physiques et de procédures administratives¹⁶. Dans de nombreux cas (en particulier pour les sources de rayonnements des catégories 1 ou 2), il est impossible ou malcommode de n'employer qu'une seule de ces méthodes. Pour pourvoir à la sûreté des sources de rayonnements, il faudrait, lorsque la situation s'y prête, préférer les mesures techniques aux mesures administratives et au matériel de protection individuelle (voir [17], par. I.29).

4.22. Pour maintenir la sécurité physique des sources, il faudrait, entre autres dispositions, prévoir au minimum des mesures de contrôle de l'accès consistant à placer la source scellée ou le dispositif derrière une barrière physique (porte, clôture, cage, système de verrouillage ou d'interverrouillage, conteneur blindé, par exemple). Les systèmes devraient être à l'épreuve des défaillances ; par exemple, en cas de défaillance d'un système d'alerte telle qu'un voyant lumineux, le dispositif devrait rester ou retourner dans un état confiné ou inactif, de sorte que la source ne puisse être exposée.

4.23. La conception et l'intégrité des barrières physiques telles que les murs de protection devraient être adaptées à la catégorie à laquelle appartient la source de rayonnements, et les principes de la défense en profondeur devraient être pris en considération. Les sources radioactives de la catégorie 1 seront en général protégées par des barrières physiques multiples de haute intégrité comprenant de solides mécanismes de contrôle de l'accès (blindage et barrières adaptés). À l'inverse, les sources des catégories 4 et 5 peuvent n'être protégées

¹⁶ Des indications concernant les mesures de contrôle de nature technique destinées à assurer la sécurité des sources seront fournies dans d'autres publications de l'AIEA.

que par une seule barrière physique, ou leur accès peut être contrôlé uniquement au moyen de mesures administratives. On intègre généralement aux dispositifs lors de leur construction des barrières physiques isolant la source radioactive qu'ils contiennent (blindage, obturateurs, mécanismes marche/arrêt, par exemple) qu'il n'est possible de contourner qu'en les démontant. Dans le cas de ces dispositifs, des barrières physiques supplémentaires peuvent être nécessaires pour en contrôler l'accès afin d'empêcher le retrait de la source par inadvertance ou sans autorisation.

Mesures de contrôle de nature administrative et tenue des dossiers

4.24. Les mesures techniques de contrôle peuvent être complétées par des mesures administratives ; celles-ci devraient être adaptées à la catégorie à laquelle appartient la source de rayonnements. Elles peuvent revêtir par exemple les formes suivantes :

- a) Procédures autorisant l'accès, par exemple par la distribution de clés ou de codes d'accès ;
- b) Procédures régissant l'utilisation autorisée de la source et interdisant les interventions abusives, par exemple la modification de la source sans autorisation ;
- c) Promulgation des règles locales devant être respectées dans les zones règlementées ;
- d) Tenue à jour de registres des utilisateurs autorisés.

Les mesures de contrôle de nature administrative font partie du système de radioprotection d'une installation. Divers facteurs dont il faut tenir compte lors de la mise en place d'un système de sûreté radiologique pour une installation industrielle d'irradiation sont indiqués à titre d'exemple dans l'annexe I.

4.25. La tenue à jour par l'utilisateur d'un inventaire complet des matières et des dispositifs en sa possession devrait figurer parmi les mesures administratives à prendre. Cet inventaire devrait comprendre les éléments suivants :

- a) Données d'identification propres à chaque source de rayonnements (généralement le numéro du modèle et le numéro de série) ;
- b) Localisation de la source (lieu où elle est installée ou emplacement où son utilisation est autorisée) ;
- c) Type et activité de la matière radioactive contenue dans chaque source scellée ou dispositif en contenant;

- d) Tension de crête du tube (en kVp) et intensité nominale maximale du faisceau (en mA) de chaque générateur ;
- e) Date à laquelle la matière ou le dispositif est ajouté au stock ou en est retiré ;
- f) Mention du lieu d'origine de la source ou du lieu de transfert..

4.26. Il faudrait avoir recours à des moyens permettant de contrôler et de suivre l'utilisation de sources. Un livret d'utilisation devrait être tenu à jour pour chaque source de rayonnements employée dans le cadre d'opérations mobiles. Il faudrait veiller à ce que ce livret concorde avec l'inventaire et y inscrire les informations suivantes chaque fois que la source scellée ou le dispositif est retiré de son lieu d'entreposage pour être utilisé :

- a) Données d'identification uniques de la source de rayonnements.
- b) Date et durée d'utilisation (heure de retrait et de retour de la source) ; l'heure prévue du retour de la source peut également être indiquée.
- c) Nom de la personne qui retire et utilise la source.
- d) Lieu d'utilisation de la source.

TRANSPORT DES SOURCES RADIOACTIVES

4.27. Les dispositions en matière de sûreté pendant le transport de matières radioactives par voie terrestre (routes, voies ferrées et voies navigables intérieures), maritime ou aérienne doivent être conformes aux prescriptions du Règlement de transport de l'AIEA [40]. Le Règlement de transport couvre toutes les opérations et situations liées ou donnant lieu au mouvement de matières radioactives, notamment la préparation, l'expédition, l'emballage, le chargement, le transport (y compris l'entreposage en transit), le déchargement et la réception à la destination finale. Le Règlement de transport a été pleinement intégré dans les documents réglementaires des organisations internationales compétentes en matière de transport et sert de base aux règlements nationaux de transport des États.

Expéditeur

4.28. Le Règlement de transport impose à l'expéditeur l'obligation de veiller au respect de ses prescriptions concernant la préparation des colis et notamment de pourvoir à l'identification, à l'étiquetage et au marquage appropriés des colis et à la fourniture de documents d'expédition adéquats.

4.29. De même, dans le cadre des préparatifs pour le transport, l'expéditeur est tenu de veiller à ce qu'un type d'emballage approprié soit utilisé. Il devrait recourir à un système qui, dans la mesure du possible, permette de vérifier auprès du destinataire que la quantité et la nature de la matière radioactive reçue et son emballage de transport correspondent à ce qu'il a envoyé. Il devrait également vérifier que la matière radioactive a été placée dans le bon colis, que les documents de transport appropriés accompagnent l'envoi et que toute documentation utile concernant la sûreté est envoyée au destinataire.

4.30. Les colis constituant un envoi devraient faire l'objet de mesures de contrôle physique pendant toute la durée du transport. L'expéditeur devrait veiller à ce que les zones où les colis sont préparés en vue du transport et entreposés en attendant que le transporteur ne vienne les chercher soient soumises à un contrôle approprié. Des sources scellées ou des colis de matières radioactives ne devraient pas être laissés sans surveillance à moins que des barrières physiques adéquates n'aient été mises en place pour empêcher que l'on puisse les retirer ou y accéder sans autorisation.

4.31. Les documents d'expédition qui accompagnent le colis devraient fournir des renseignements sur l'expéditeur, le destinataire et le type et la quantité de matière radioactive, ainsi que les autres informations spécifiées dans le Règlement de transport. Les indications fournies dans ces documents devraient être suffisantes pour que le destinataire puisse identifier avec certitude la matière radioactive reçue.

Transporteur

4.32. Le transporteur (société de transport) devrait avoir un système qui permette de vérifier en cours de transport les colis constituant l'envoi et notamment de confirmer leur départ du lieu d'expédition, de les localiser dans la mesure du possible en cours de route, que ce soit à bord du véhicule du transporteur ou pendant l'entreposage en transit, et de confirmer leur réception par le destinataire. Le transporteur ne devrait pas livrer un colis au destinataire ni laisser celui-ci au lieu de destination si sa bonne réception ne peut être confirmée. Si le colis ne peut pas être livré normalement, le transporteur devrait le conserver et continuer à en assumer la responsabilité. S'il ne peut pas entrer en contact avec le destinataire, il devrait se mettre en rapport avec l'expéditeur et/ou l'organisme de réglementation dès que possible afin de déterminer ce qu'il convient de faire du colis.

Destinataire

4.33. Le destinataire devrait veiller à ce que les colis qui arrivent soient dûment réceptionnés et entreposés. La zone de livraison des colis devrait être soumise à un contrôle. Dans tous les cas, des procédures devraient être mises en place pour la réception et l'entreposage des colis. Des dispositions devraient notamment être prévues pour permettre de les réceptionner en et hors heures ouvrables, ainsi que de vérifier l'intensité de rayonnement externe et les fuites éventuelles des emballages, en particulier s'ils ont été endommagés.

Transport local

4.34. Pendant leur utilisation et leur transport local, les dispositifs portables tels que les sources utilisées en radiographie industrielle ou pour les forages pétroliers et les jauges de niveau, d'épaisseur et d'humidité devraient être soumis à un système de vérification. Leur emplacement devrait toujours être connu et ils ne devraient pas être expédiés ni transférés à un autre utilisateur sans autorisation. L'utilisateur devrait veiller à ce que ces dispositifs portables ne soient retirés de leur lieu d'entreposage que contre signature et à ce que l'identité de l'opérateur soit établie. Ce système de vérification peut consister en un livret suiveur rendant compte de tous les aspects de leur utilisation, y compris leur emplacement, leur entreposage temporaire et leur retrait du service à des fins de maintenance. Pendant leur transport local, il faudrait assurer la sécurité physique des dispositifs portables en les entreposant dans un conteneur fermé à clé à bord du véhicule. Lorsqu'ils ne sont pas en service sur un chantier, les dispositifs portables devraient être entreposés dans une zone sécurisée.

5. DÉCLASSEMENT DES INSTALLATIONS ET GESTION DES SOURCES RETIRÉES DU SERVICE

5.1. Plusieurs facteurs peuvent amener à retirer des sources du service. Dans le cas d'une source scellée, ce retrait peut être motivé par une baisse d'activité due à la décroissance radioactive qui rend la source inutilisable ou par des doutes concernant son intégrité en raison de son âge. La vente ou la fermeture d'une installation, le remplacement d'une source ou d'une installation par de

nouveaux équipements et la faillite de l'entreprise propriétaire ou utilisatrice sont d'autres facteurs qui peuvent amener à retirer une source du service.

5.2. Les exemples de situations qui se sont soldées par des accidents graves, des dommages corporels et des décès parce que l'on n'avait pas pris de dispositions pour assurer en temps utile et selon les règles le déclassement et l'évacuation de dispositifs contenant des sources scellées ont été nombreux ces dernières années. Conformément au Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, chaque État devrait veiller à ce que des sources scellées ne soient pas entreposées pendant de longues périodes dans des installations qui n'ont pas été conçues pour un tel entreposage [19]. Conformément au Code, chaque État devrait également, avant que l'organisme de réglementation n'autorise la réception d'une source scellée, s'assurer que des dispositions, y compris financières, ont été prises pour en garantir la gestion sûre une fois qu'elle aura été retirée du service. L'AIEA a formulé des indications concernant les mesures à prendre pour réduire le risque d'accident lié à des sources scellées qui ont été retirées du service [46] et les méthodes permettant d'identifier et de localiser les sources retirées du service et perdues [47].

5.3. La partie principale peut recourir aux options ci-après pour la gestion des sources retirées du service :

- a) Entreposage avant évacuation ;
- b) Transfert à un autre utilisateur autorisé ;
- c) Renvoi au fabricant et/ou au fournisseur ;
- d) Déclassement et évacuation.

Entreposage des sources avant leur évacuation

5.4. Les sources peuvent être entreposées avant d'être évacuées soit afin de permettre la décroissance radioactive des radionucléides à courte période, ce qui simplifie les dispositions à prendre pour leur évacuation, soit en attendant que les dispositions d'évacuation soient prises. Toutefois, il n'est pas recommandé d'entreposer les sources retirées du service pendant de longues périodes dans un but autre que celui d'attendre la décroissance radioactive. C'est la partie principale qui devrait déterminer, avec l'accord de l'organisme de réglementation et compte tenu des particularités de l'installation, quelle est la meilleure façon de gérer la période d'entreposage en attendant le déclassement final et l'évacuation. Par exemple, si l'installation contient un grand nombre de sources sur une chaîne de production qui n'est plus en

service, le rassemblement de ces sources dans un lieu sécurisé est une option qui devrait être envisagée. Une telle mesure devrait en tout état de cause être prise s'il ne peut être garanti que ces sources resteront sous contrôle dans les locaux désaffectés. Bien que le Règlement de transport ne s'applique pas au mouvement des sources à l'intérieur d'une installation, les principes relatifs à la sûreté des sources qui y sont énoncés devraient être pris en considération lors de la planification des mouvements internes de matières radioactives. Les indications de l'AIEA concernant la manutention, le conditionnement et l'entreposage des sources scellées usées devraient être prises en compte [48].

5.5. Le nombre, le type, l'activité et l'emplacement des sources entreposées en attendant d'être évacuées devraient être répertoriés. Les sources entreposées qui sont encore utilisées et celles qui ont été retirées du service devraient être répertoriées séparément. Si les sources sont entreposées dans le but d'en réduire l'activité par décroissance radioactive, la date et le niveau d'activité auxquels elles seront évacuées devraient être spécifiés.

5.6. L'idéal serait que les sources retirées du service qui attendent d'être évacuées soient physiquement isolées des sources en service. Cela permet d'éviter qu'une source opérationnelle soit par erreur manipulée ou évacuée comme s'il s'agissait d'une source usée ; cela permet également d'éviter d'encombrer l'espace à proximité des sources en service. S'il est difficile de procéder à cette séparation, il faudrait apposer sur les sources retirées du service des étiquettes indiquant qu'il ne faut pas s'en servir, mais la meilleure solution serait de les mettre sous clef ou de les placer dans un réceptacle scellé afin qu'elles ne puissent pas être utilisées.

Transfert d'une source à un autre utilisateur autorisé

5.7. Le transfert des sources à d'autres utilisateurs est à la fois économique et avantageux du point de vue de l'environnement. Toutefois, ce transfert devrait être effectué de manière contrôlée et les prescriptions réglementaires applicables devraient être portées à la connaissance de la partie qui reçoit la source. Si elle a l'intention de transférer une source à un autre utilisateur, la partie principale devrait être consciente du fait que ce transfert implique qu'elle doit assumer, en matière de sûreté et de comptabilité, des responsabilités équivalentes à celles du fabricant de la source. Il lui incombe notamment l'obligation de vérifier que le destinataire détient une autorisation valide pour utiliser la source. De nombreuses parties principales risquent de ne pas être suffisamment familiarisées avec toutes les règles applicables, en particulier si la source doit être transférée à un utilisateur se trouvant dans un

autre État. Par conséquent, toute partie principale qui envisage de recourir à cette solution devrait consulter, en tant que de besoin, le fabricant de la source et l'organisme de réglementation pour s'assurer que toutes les questions de sûreté que soulève le transfert soient traitées comme il se doit et veiller en particulier à fournir une documentation appropriée et à mettre à jour les inventaires des sources.

5.8. La partie principale devrait veiller tout spécialement à ce que les sources scellées et les dispositifs soient en état de marche et adaptés à la nouvelle application envisagée. Des copies de tous les documents pertinents concernant l'historique de l'utilisation de la source (par exemple les relevés des conditions d'utilisation et les carnets de maintenance) devraient être fournies au nouveau propriétaire. Ces documents devraient indiquer au minimum le numéro de série de la source, le radionucléide qu'elle contient et son activité. Pour ce qui concerne les sources de haute activité, il est probable que les essais permettant d'en vérifier le bon état de fonctionnement ne pourront être effectués que dans une installation spécialisée. Par conséquent, leur transfert direct à un autre utilisateur n'est peut-être pas une solution appropriée ; ces transferts devraient être réalisés par l'intermédiaire d'un fabricant, d'un fournisseur ou d'un autre organisme compétent.

Renvoi de la source au fabricant ou au fournisseur

5.9. Le fabricant ou le fournisseur d'une source devrait, au moment de la livraison, indiquer à l'utilisateur les dispositions prévues pour le renvoi de la source. Ces dispositions peuvent changer pendant la durée de vie de la source. La partie principale devrait donc se mettre en rapport avec le fabricant ou le fournisseur avant le renvoi prévu de la source afin de s'assurer que la filière d'évacuation est disponible et d'obtenir des précisions au sujet de la procédure en vigueur. Cependant, il se peut que le fournisseur ne connaisse pas bien la réglementation régissant l'évacuation des sources en vigueur dans le pays de l'utilisateur ni les différentes solutions possibles dans ce pays. Cela risque d'être le cas si la source est achetée à un fournisseur se trouvant dans un autre État. La partie principale devra donc s'assurer que la filière d'évacuation proposée est conforme à la réglementation nationale. Si un fabricant ou un fournisseur ne respecte pas son engagement de reprendre une source, par exemple en raison de sa faillite, la partie principale devrait demander conseil à l'organisme de réglementation.

5.10. Il est de plus en plus courant de louer les sources. À certains égards, la location se traduit par une amélioration de la sûreté car le fabricant reste

propriétaire des sources et continue donc d'assumer la responsabilité de les récupérer en vue de leur évacuation. Cependant, les responsabilités courantes en matière de sûreté continuent d'incomber à la partie principale.

Déclassement

5.11. Le déclassement consiste à retirer d'une installation les sources de rayonnements couvertes par une licence et à prendre des mesures administratives et techniques pour lever partiellement ou totalement les mesures de contrôle réglementaire. Certaines installations peuvent n'être dotées que d'un seul dispositif radiologique, par exemple un appareil de téléthérapie. D'autres peuvent comprendre des locaux couverts par une licence dans lesquels de nombreux dispositifs sont installés (par exemple une chaîne de production comprenant des jauges industrielles) ou entreposés (par exemple un local où des dispositifs mobiles sont remisés). Le déclassement peut donner lieu au retrait d'un grand nombre de sources avant que la licence d'une installation ne soit annulée. Il peut également donner lieu au retrait d'une partie du stock de dispositifs d'une installation avant qu'une nouvelle licence ne soit délivrée et que de nouveaux dispositifs ne soient mis en place pour les besoins des travaux futurs. Le remplacement de la source dans un dispositif existant n'est pas considéré comme une opération de déclassement. Les orientations de l'AIEA concernant la gestion sûre des activités de déclassement des installations médicales, industrielles et de recherche [49] devraient être suivies pour la planification et l'exécution de ces activités.

5.12. Dans les installations utilisant des sources scellées, le déclassement peut consister uniquement dans le retrait autorisé de toutes les sources. Dans les situations plus complexes où il faut procéder au démantèlement sur place d'équipements contenant des sources, les activités de déclassement devraient être réalisées par du personnel suffisamment qualifié et expérimenté dans des zones adaptées aux types de procédure à entreprendre. De nombreux utilisateurs d'équipements contenant des sources ne disposeront pas du personnel ni des autorisations nécessaires pour procéder au démantèlement complet de ces équipements s'il faut en retirer des sources scellées. La partie principale devrait veiller à ce qu'il soit fait appel à des employés ou à des sous-traitants qualifiés. S'il est nécessaire de confier le déclassement à une société extérieure, la partie principale devrait s'assurer que cette société a l'autorisation et les compétences voulues.

5.13. Étant donné que le déclassement se traduit par la levée des contrôles réglementaires, la partie principale devrait informer l'organisme de

réglementation de la date à laquelle les opérations de déclassement doivent être réalisées.

5.14. Il se peut que l'installation dans laquelle une source de rayonnements a été utilisée ne permette pas la manipulation et l'entreposage sûrs et en toute sécurité de sources non blindées. Il faudrait donc réduire au minimum l'étendue des activités de déclassement menées dans les locaux de l'utilisateur. Dans de nombreux cas, le porte-source fait partie intégrante du conteneur de transport approuvé et il ne devrait pas être nécessaire d'en retirer la source, d'autant que, comme des indications concernant le contenu (radionucléide présent, activité, date de référence et numéro de série, notamment) sont généralement gravées à la surface de celui-ci, on risquerait ce faisant une perte du contrôle comptable. De nombreuses sources étant de petite taille, on risquerait également de les laisser tomber ou de les égarer sans s'en apercevoir. Dans un certain nombre de cas, des sources scellées ont été endommagées par inadvertance alors qu'on les retirait de leur étui, ce qui s'est traduit par une contamination importante. Par conséquent, s'il n'est pas nécessaire de retirer la source de l'appareil sur le lieu d'utilisation, il faudrait éviter de le faire.

5.15. Lorsque le déclassement est achevé (c'est-à-dire une fois que toutes les sources de rayonnements couvertes par la licence ont été retirées des locaux en vue de la levée des contrôles réglementaires), la partie principale devrait procéder à une vérification finale pour s'assurer que toutes les matières radioactives ont été retirées.

5.16. Après l'achèvement du déclassement et l'annulation de l'autorisation d'utiliser les sources, des relevés des sources qui ont été transférées devraient être conservés pendant une durée appropriée, comme convenu avec l'organisme de réglementation.

5.17. L'organisme de réglementation devrait s'assurer que l'évacuation et le déclassement ont été effectués par la partie principale conformément aux prescriptions réglementaires.

RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, L'accident radiologique de Goiânia, AIEA, Vienne (1990).
- [2] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, L'accident radiologique de San Salvador, AIEA, Vienne (1991).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Soreq, IAEA, Vienna (1993).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident at the Irradiation Facility in Nesvizh, IAEA, Vienna (1996).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Tammiku, IAEA, Vienna (1998).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Istanbul, IAEA, Vienna (2000).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Lilo, IAEA, Vienna (2000).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Yanango, IAEA, Vienna (2000).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Gilan, IAEA, Vienna (2002).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Samut Prakarn, IAEA, Vienna (2002).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Cochabamba, IAEA, Vienna (2005).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in Bialystok, IAEA, Vienna (2004).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Investigation of an Accidental Exposure of Radiotherapy Patients in Panama, IAEA, Vienna (2001).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Irradiation Facilities, IAEA, Vienna (1996).
- [15] CROFT, J.R., "Summary of major accidents with radiation sources and lessons learned", Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials (Proc. Int. Conf. Dijon, 1998), IAEA, Vienna (1999).
- [16] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MARITIME INTERNATIONALE, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINNE DE LA SANTÉ, PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, Principes fondamentaux de sûreté, collection Normes de sûreté n° SF-1, AIEA, Vienne (2007).

- [17] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINNE DE LA SANTÉ, Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, collection Sécurité n° 115, AIEA (1997).
- [18] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Infrastructure législative et gouvernementale pour la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté des déchets radioactifs et la sûreté du transport, collection Normes de sûreté n° GS-R-1, AIEA, Vienne (2004).
- [19] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, IAEA/CODEOC/2004, AIEA, Vienne (2004).
- [20] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Security of Radioactive Sources : Interim Guidance for Comment, IAEA-TECDOC-1355, IAEA, Vienna (2003).
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, Legal Series No. 12, IAEA, Vienna (1982).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulatory Control of Radiation Sources, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-1.5, IAEA, Vienna (2004).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.9, IAEA, Vienna (2005).
- [24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Practical Radiation Safety Manual on Nuclear Gauges, IAEA-PRSM-3 (Rev. 1), IAEA, Vienna (1996).
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Practical Radiation Safety Manual on Panoramic Gamma Irradiators (Categories II and IV), IAEA-PRSM-8 (Rev. 1), IAEA, Vienna (1996).
- [26] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Manuel pratique de sûreté radiologique - Irradiateurs gamma de laboratoire (Catégories I et III), IAEA-PRSM-7, AIEA, Vienne (1995).
- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Practical Radiation Safety Manual on Gamma Radiography, IAEA-PRSM-1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (1996).
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiological Safety Aspects of the Operation of Neutron Generators, Safety Series No. 42, IAEA, Vienna (1976).
- [29] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators, Technical Reports Series No. 188, IAEA, Vienna (1979).

- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiological Safety Aspects of the Operation of Proton Accelerators, Technical Reports Series No. 283, IAEA, Vienna (1988).
- [31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities, Safety Series No. 107, IAEA, Vienna (1992).
- [32] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 13, IAEA, Vienna (1999).
- [33] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Plans d'évaluation de la sûreté pour l'autorisation et l'inspection des sources de rayonnements, IAEA-TECDOC-1113/F, AIEA, Vienne (2002).
- [34] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Notification et autorisation pour l'utilisation des sources de rayonnements (Supplément à la publication n° GS-G-1.5 de la collection Normes de sûreté de l'AIEA), IAEA-TECDOC-1525, AIEA, Vienne (à paraître).
- [35] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Radioprotection -- Sources radioactives scellées -- Prescriptions générales et classification, ISO 2919, ISO, Genève (1999).
- [36] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Radioprotection -- Sources radioactives scellées -- Méthodes d'essai d'étanchéité, ISO 9978, ISO, Genève (1992).
- [37] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Systèmes de management de la qualité -- Exigences, ISO 9001, ISO, Genève (2000).
- [38] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).
- [39] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [40] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Règlement de transport des matières radioactives - Édition de 2005 - Prescriptions (publication de l'AIEA, collection Normes de sûreté n° TS-R-1, AIEA, Vienne (2005).
- [41] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Symbole de base pour les rayonnements ionisants, ISO 361, ISO, Genève (1975).
- [42] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Radioprotection — Appareils pour radiographie gamma industrielle — Spécifications de performance, de conception et d'essais, ISO 3999, ISO, Genève (2004).
- [43] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Jauges à radioéléments -- Appareils destinés à être installés à poste fixe, ISO 7205, ISO, Genève (1986).

- [44] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Établissement de la compétence en radioprotection et dans l'utilisation sûre des sources de rayonnements, collection Normes de sûreté n° RS-G-1.4, AIEA, Vienne (2005).
- [45] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Training in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources, Safety Reports Series No. 20, IAEA, Vienna (2001).
- [46] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management for the Prevention of Accidents From Disused Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1205, IAEA, Vienna (2001).
- [47] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Methods to Identify and Locate Spent Radiation Sources, IAEA-TECDOC-804, IAEA, Vienna (1995).
- [48] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Handling, Conditioning and Storage of Spent Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1145, IAEA, Vienna (2000).
- [49] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Déclassement des installations médicales, industrielles et de recherche, collection Normes de sûreté n° WS-G-2.2, AIEA, Vienne (2004).

Annexe I

FACTEURS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION POUR LA MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE SÛRETÉ RADIOLOGIQUE : EXEMPLE D'UNE GRANDE UNITÉ D'IRRADIATION INDUSTRIELLE

Dans la présente annexe, l'emploi du conditionnel a uniquement une signification grammaticale¹.

ORGANISATION ET GESTION

I-1. Certains des facteurs dont il faudrait tenir compte lors de la conception et de la mise en oeuvre d'un système de radioprotection sont présentés ci-après. Cette présentation n'est pas prescriptive ni exhaustive, mais vise seulement à donner un aperçu général à titre indicatif. Des orientations détaillées concernant divers types de pratiques sont données dans d'autres publications de l'AIEA².

I-2. Les installations d'irradiation industrielle présentent un risque important d'irradiation gamma car la radioactivité présente dans un irradiateur de grande taille est souvent comprise entre 10^{17} et 10^{18} Bq, voire supérieure à 10^{18} Bq dans certaines installations. L'organisation de ces installations devrait traduire un engagement fort de la direction en faveur de la sûreté radiologique et son souci constant d'y veiller.

I-3. La direction devrait désigner un spécialiste de la radioprotection dont les compétences sont reconnues par l'organisme de réglementation et qui a reçu une autorisation de celui-ci. Le spécialiste de la radioprotection et ses

¹ La présente annexe donne à titre d'exemple des informations recueillies auprès d'experts et de multiples sources. L'emploi du conditionnel dans la partie principale et les appendices d'un guide de sûreté a valeur de recommandation et traduit un consensus international sur la nécessité de prendre les mesures recommandées (ou d'autres mesures équivalentes) pour se conformer aux prescriptions énoncées. En revanche, une annexe ne fait pas partie intégrante d'un guide et l'emploi qui y est fait du conditionnel n'a aucune signification particulière. Dans la présente annexe, l'emploi du conditionnel a donc uniquement une signification grammaticale.

² Parmi les publications en cours d'élaboration figurent des rapports de sûreté sur la radiographie industrielle, les jauges radioactives et les sondes de diagraphie nucléaires.

collaborateurs éventuels devraient disposer de suffisamment de temps pour s'acquitter de leurs tâches en matière de sûreté. Dans les installations de grande taille, il devrait être nommé à temps plein. Le spécialiste de la radioprotection devrait être responsable de tous les aspects de la sûreté radiologique : directives, procédures de sûreté, nomination et formation du personnel, assurance qualité de l'installation des systèmes de sûreté, surveillance et tenue des dossiers. Il devrait désigner par écrit les opérateurs autorisés à faire fonctionner l'irradiateur sans supervision. L'irradiateur devrait rester à l'arrêt dans un état sûr tant qu'un opérateur autorisé n'est pas présent. Le titulaire de la licence devrait également consulter un expert dûment qualifié au sujet des questions de radioprotection et de toute modification de la conception qui pourrait avoir une incidence sur la radioprotection et la sûreté de la source.

I-4. Tous les membres du personnel devraient se voir communiquer par écrit, dans leur langue, les procédures à suivre pour toute tâche dans le cadre de laquelle des prescriptions ou des procédures de sûreté doivent être respectées. La direction devrait surveiller fréquemment la situation de l'installation en matière de sûreté et tenir compte de la sûreté lorsqu'il s'agit d'évaluer le comportement professionnel du personnel d'encadrement et des autres membres du personnel de l'installation d'irradiation.

SÉLECTION ET FORMATION DU PERSONNEL

Personnel de radioprotection

I-5. Le personnel devrait justifier de sa capacité à suivre des procédures de sûreté aussi bien en exploitation normale que dans une situation d'urgence. Tous les employés devraient donc faire preuve de maturité et de stabilité émotionnelle. Le spécialiste de la radioprotection devrait être titulaire de certificats attestant qu'il a reçu une formation théorique en radioprotection d'un niveau correspondant à son poste et avoir acquis une expérience professionnelle dans une installation d'irradiation ou une installation présentant des caractéristiques similaires du point de vue de la sûreté radiologique. Les autres membres du personnel de sûreté devraient recevoir une formation théorique en radioprotection d'un niveau approprié. La formation théorique devrait être complétée par une formation pratique dans l'installation d'irradiation afin de familiariser le personnel avec les prescriptions de sûreté propres à cette installation. Des séances périodiques de mise à niveau devraient être organisées au moins une fois par an pour rappeler

au personnel les prescriptions en matière de sûreté et passer en revue des modifications qui y ont été apportées.

Opérateurs

I-6. Il n'est pas nécessaire que les opérateurs d'irradiateur possèdent des qualifications spéciales autres que celles qui conviennent pour des tâches d'exécution normales dans l'industrie. Toutefois, étant donné que le respect des procédures de sûreté est essentiel, la stabilité psychologique des opérateurs d'irradiateur est un aspect sur lequel il faudrait envisager de mettre particulièrement l'accent. Avant qu'il ne commence à travailler dans une installation d'irradiation, chaque membre du personnel devrait avoir suivi un programme de formation documenté.

I-7. Un programme de formation théorique devrait comprendre une formation aux fondements de la radioprotection, à l'utilisation des instruments de détection du rayonnement, à la conception et aux caractéristiques de sûreté des installations d'irradiation, aux procédures d'exploitation et aux procédures d'urgence. L'accent devrait être mis sur les risques d'exposition aiguë et d'exposition chronique excessive. Le personnel devrait avoir une formation pratique suffisante avant de travailler sans supervision. Au cours des séances de mise à niveau (voir le paragraphe I-5), il faudrait notamment passer en revue les procédures de sûreté, les modifications qui ont pu être apportées aux prescriptions ou à la technologie, le bilan de sûreté de l'installation et les problèmes éventuels.

CONTRÔLE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Contrôle des doses externes

I-8. Étant donné la grande quantité de matières radioactives mises en jeu, les installations d'irradiation sont dotées de blindages de protection et d'autres dispositifs de sûreté très étudiés. Leurs principales caractéristiques de conception sont brièvement présentées ci-après.

Conception de la source

I-9. Les sources de rayonnements d'une installation d'irradiation devraient avoir été conçues, fabriquées et testées sur un prototype de façon appropriée afin qu'elles puissent conserver leur intégrité dans des conditions normales et,

autant que faire se peut, dans des conditions accidentelles. Le fournisseur devrait remettre une documentation attestant la qualité des sources.

Blindage

I-10. Le blindage d'un irradiateur est généralement constitué de murs en béton de forte épaisseur. Le blindage devrait être prévu à la fois pour l'entreposage et l'utilisation de l'assemblage contenant la source. Dans la plupart des installations d'irradiation, cet assemblage est entreposé sous eau dans une piscine lorsqu'il n'est pas utilisé, mais dans d'autres, il est entreposé à sec derrière d'épaisses barrières en béton. L'entrée de la salle d'irradiation comprend généralement une chicane ou plusieurs blindages successifs, de sorte qu'une porte fortement blindée n'est pas nécessaire. Lors de la conception et de la construction d'une installation, il faut veiller à ce que la structure ne comporte pas de voies d'accès non protégées qui permettraient aux faisceaux de rayonnements de s'échapper de la zone blindée.

Verrous et alarmes

I-11. Les sources de rayonnements sans écran peuvent délivrer une dose mortelle en quelques secondes. Des verrous et des alarmes automatiques sont donc nécessaires pour empêcher l'accès accidentel à la zone d'irradiation lorsque les sources ne sont pas protégées. Les systèmes de verrouillage peuvent comprendre une série de verrous électroniques, de détecteurs de mouvement et d'interrupteurs à pression qui verrouillent automatiquement la zone protégée lorsqu'une source est exposée, qui mettent automatiquement l'assemblage contenant la source dans une position protégée lorsque quelqu'un essaie de pénétrer dans la zone d'irradiation et qui empêchent l'exposition de la source tant que cette zone n'est pas libre de toute présence. Les verrous devraient être conçus de telle manière qu'une personne qui viendrait à être enfermée dans la zone d'irradiation puisse en sortir rapidement sans avoir à utiliser une clé ou à suivre des procédures spéciales. Un dispositif d'arrêt d'urgence devrait aussi être installé à l'intérieur de la zone. Des alarmes visuelles et sonores devraient être prévues pour avertir que la source est sur le point d'être placée en position non protégée, que les niveaux de rayonnement sont élevés ou que quelqu'un a forcé un verrou. Les systèmes de sûreté devraient respecter les principes de la défense en profondeur ; autrement dit, ils devraient comprendre plusieurs niveaux de redondance, de sorte qu'une seule défaillance n'ait pas pour effet d'ouvrir l'accès à des zones où le débit de dose est élevé. Les systèmes de verrouillage devraient aussi être conçus et installés de manière à fonctionner en mode sécurisé. Il faudrait installer, au

point d'entrée du produit, des systèmes de sûreté qui laissent passer le dispositif de convoyage du produit mais empêchent le passage des personnes. Ces systèmes dépendront dans une large mesure de la conception de l'installation, mais pourront comprendre des capteurs thermosensibles, des sas automatiques et des barrières locales.

Qualité de l'eau

I-12. Des systèmes de filtrage de l'eau devraient être prévus pour empêcher l'accumulation, dans l'eau de la piscine où est entreposée la source radioactive, de substances corrosives susceptibles d'endommager le confinement de la source. Les niveaux de rayonnement des systèmes de filtrage devraient être contrôlés régulièrement afin de détecter une éventuelle perte d'intégrité de la source. Un dispositif automatique de surveillance du niveau de l'eau devrait être prévu. Une alimentation en eau de secours devrait être disponible.

Protection de l'installation

I-13. La conception d'une installation d'irradiation devrait être adaptée aux dangers extérieurs potentiels, en particulier aux risques sismiques et aux risques de tornade. Un système de protection contre les incendies permettant d'éteindre tout incendie survenant dans la salle d'irradiation devrait être prévu. Le système de manipulation des matières irradiées devrait être conçu de manière à éviter les interférences avec les assemblages contenant les sources et leurs mécanismes de transport. Des systèmes de ventilation et de contrôle devraient être installés afin d'empêcher l'ozone de s'accumuler au point d'atteindre des niveaux dangereux.

Mesures de contrôle de nature administrative

I-14. Il faudrait établir par écrit des procédures destinées à empêcher toute manœuvre visant à placer la source en position non protégée lorsque quelqu'un est présent dans la salle d'irradiation. Des mesures de contrôle de nature administrative devraient être mises en place pour empêcher la présence de personnes non autorisées à proximité des entrées de la salle d'irradiation, y compris l'entrée du dispositif de convoyage du produit. Des règles internes spécifiant les procédures à suivre et les précautions à prendre pendant l'exploitation de l'installation devraient être établies et communiquées à tous les opérateurs. Il faudrait recourir à une combinaison de mesures techniques et administratives pour faire en sorte que le niveau souhaité de radioprotection professionnelle soit atteint [I-1].

Programme de surveillance

I-15. Une surveillance périodique devrait être effectuée pour vérifier l'absence de niveaux de rayonnements inhabituels et la bonne maintenance de l'ensemble des équipements de l'installation. Une liste des points à surveiller devrait être tenue à jour.

Position de la source

I-16. Des moniteurs de rayonnement devraient être installés dans la salle d'irradiation pour indiquer les niveaux de rayonnement lorsque la source est protégée et lorsqu'elle ne l'est pas. Ces moniteurs devraient être complétés par des indicateurs électroniques de position de la source qui permettent aux opérateurs de savoir si celle-ci est en position protégée, partiellement protégée ou non protégée. Étant donné que les rayonnements de forte intensité endommagent la plupart des détecteurs, il est généralement souhaitable que ceux-ci soient partiellement protégés. Quiconque pénètre dans la salle d'irradiation devrait vérifier les niveaux de rayonnement avec un dispositif de contrôle du rayonnement portable.

Blindage

I-17. Le rayonnement direct devrait être contrôlé périodiquement afin de vérifier l'intégrité et l'adéquation du blindage, en particulier lorsque de nouvelles sources sont chargées.

Surveillance professionnelle

I-18. Si les opérateurs suivent les procédures établies et si l'installation est pourvue d'un blindage suffisant, il est peu probable que le personnel soit soumis à des expositions importantes aux rayonnements. Cependant, il est conforme aux bonnes pratiques qu'au moins un échantillon représentatif du personnel porte des dosimètres individuels. En outre, tous les membres du personnel participant à des interventions non courantes devraient porter des dosimètres à alarme.

Sources de rayonnements

I-19. Les sources devraient faire périodiquement l'objet de contrôles d'étanchéité, soit directement, soit par échantillonnage de l'eau et surveillance des systèmes de filtrage.

Systèmes de sûreté

I-20. Il faudrait contrôler périodiquement le bon fonctionnement de tous les équipements, systèmes de verrouillage et dispositifs de surveillance d'une installation d'irradiation, et les travaux de maintenance et de réparation devraient être effectués conformément aux instructions du fournisseur. Les équipements présents dans la salle d'irradiation sont susceptibles d'être endommagés à la longue par les rayonnements. Les systèmes cruciaux du point de vue de la sûreté comme les moniteurs de rayonnement, les verrous et les alarmes devraient être vérifiés quotidiennement.

CONTRÔLE DE L'EXPOSITION DU PUBLIC

I-21. En principe, aucune disposition particulière n'est nécessaire pour contrôler l'exposition du public car, d'une part, le blindage de l'installation permettra de maintenir les niveaux d'exposition à l'extérieur des locaux en dessous des niveaux de référence spécifiés par l'organisme de réglementation et, d'autre part, les membres du public ne sont pas censés avoir accès à l'installation. Les mesures de contrôle de l'exposition professionnelle permettront généralement de faire en sorte que les taux d'exposition dans les zones accessibles au public soient suffisamment faibles, mais cela devra être confirmé. L'accès à l'installation d'irradiation devrait être contrôlé afin d'empêcher tout accès non autorisé. Les sources de rayonnements à évacuer devraient être renvoyées au fabricant, au fournisseur ou à un autre destinataire du même type autorisé. Dans la plupart des cas, le fabricant ou le fournisseur participera directement au remplacement ou au chargement de la source et enlèvera également les sources usées.

PLANS D'URGENCE

I-22. Lors de la plupart des incidents se produisant dans des installations d'irradiation, il suffira simplement de placer par télécommande la source en position d'entreposage sûr jusqu'à ce que le problème soit réglé. Des procédures d'urgence écrites devraient être établies pour les incidents prévisibles tels que le blocage de la source en position non protégée, la défaillance du système de verrouillage, une perte d'eau, la fuite de la source, un incendie ou des niveaux d'ozone excessifs. Une situation d'urgence due à un événement peu probable tel que la rupture de la source ou du blindage ou une surexposition pourrait avoir des conséquences graves et même entraîner un

danger mortel, et il faudrait s'assurer que des dispositions ont été prises pour y faire face [I-2–I-4]. Le plan d'urgence de l'installation devrait prévoir les dispositions nécessaires pour que :

- a) L'installation soit arrêtée immédiatement et les sources replacées en position d'entreposage (si possible) ;
- b) Personne ne pénètre dans la salle d'irradiation tant que la situation d'urgence n'a pas été évaluée par le spécialiste de la radioprotection et que l'on n'a pas donné l'autorisation de le faire ;
- c) En cas de rupture du blindage, une zone à accès limité soit mise en place et surveillée ;
- d) Le concours d'experts extérieurs soit obtenu, si nécessaire ;
- e) L'autorité compétente soit immédiatement informée ;
- f) Les employés concernés par la situation d'urgence ne quittent pas l'installation tant que l'on n'a pas été déterminé les activités de décontamination et les soins médicaux éventuellement nécessaires.

I-23. Les procédures prévues par le plan d'urgence devraient être répétées à intervalles périodiques afin que tous les opérateurs soient familiarisés avec les mesures à prendre en cas d'urgence.

RÉFÉRENCES DE L'ANNEXE I

- [I-1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, Radioprotection professionnelle, collection Normes de sûreté n° RS-G-1.1, AIEA, Vienne (2004).
- [I-2] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, collection Normes de sûreté n° GS-R-2, AIEA, Vienne (2004).
- [I-3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna (2006).
- [I-4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency : EPR-Method 2003 (Updating IAEA-TECDOC-953), Emergency Preparedness and Response Series, IAEA, Vienna (2003).

Annexe II

ÉVALUATION PROBABILISTE DE LA SÛRETÉ

II-1. Pour évaluer la sûreté d'une source de rayonnements, il faudrait connaître à la fois la manière dont on compte exploiter la source et les écarts possibles par rapport au processus d'exploitation prévu. Les écarts les plus importants sont ceux qui peuvent avoir des conséquences non souhaitées telles qu'un rejet de matières radioactives consécutif à l'endommagement de la source et la forte exposition aux rayonnements qui peut en résulter.

II-2. Une évaluation de la sûreté en exploitation normale consiste à examiner toutes les situations dans lesquelles la source de rayonnements est exploitée comme prévu, et ce pendant toutes les phases de sa vie. Les différents facteurs et conditions qui règneront pendant les phases non opérationnelles telles que l'installation, la mise en service et la maintenance doivent être dûment pris en considération.

II-3. Les anomalies possibles et leurs causes, par exemple des défaillances des systèmes de protection ou des erreurs humaines, doivent être déterminées dans les évaluations de la sûreté en cas de mauvais fonctionnement. La probabilité, l'importance et les conséquences de telles anomalies sont ensuite évaluées au moyen de méthodes appropriées d'analyse du risque dont plusieurs exemples sont présentés plus loin. L'évaluation probabiliste de la sûreté (EPS) est une technique qui a fait ses preuves pour l'évaluation des risques que présentent les centrales nucléaires [II-1], et une grande partie de l'expérience acquise grâce à cette technique peut être adaptée sous forme simplifiée aux applications complexes faisant appel à des sources de rayonnements. Comme cela a été mentionné au paragraphe 3.8, le fait que ces analyses ne permettent pas de prendre dûment en compte les facteurs humains en limite quelque peu la valeur.

MÉTHODES D'ANALYSE DE LA SÛRETÉ

II-4. Plusieurs méthodes éprouvées peuvent être utilisées pour procéder à une évaluation systématique du risque. Ces méthodes ont été mises au point dans divers secteurs industriels, mais elles peuvent être adaptées pour analyser la sûreté des pratiques mettant en jeu des sources de rayonnements. Dans certains cas, il peut être nécessaire de combiner plusieurs techniques. Les

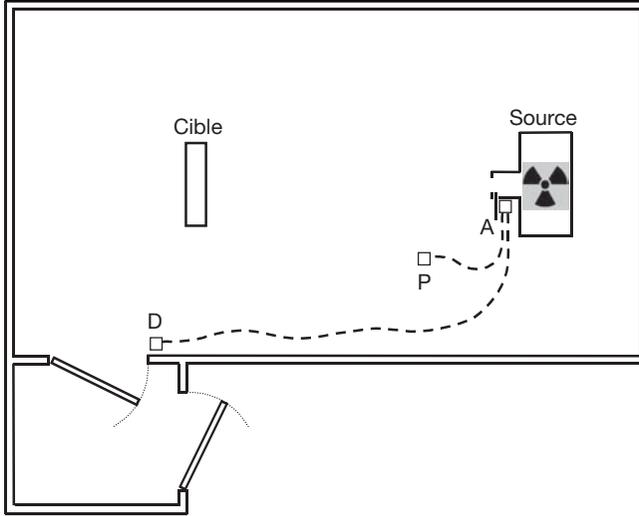


FIG. II-1. Salle d'irradiation équipée d'un capteur de porte (D), d'un capteur proximétrique (P) et d'un organe de commande de l'obturateur (A).

descriptions ci-après ne donnent qu'un bref aperçu de la question. L'évaluation de la sûreté et l'analyse du risque ont fait l'objet de nombreuses publications, dont la Publication 76 de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) [II-2], qui constitue un bon point de départ pour se documenter davantage sur ce sujet dans le contexte de la sûreté radiologique.

Analyse par arbres d'événements

II-5. Les arbres d'événements constituent un moyen graphique de représenter une séquence d'événements différents pouvant aboutir à une défaillance des systèmes de protection. Les arbres d'événements commencent par un événement initiateur qui soumet les composants du système de sûreté à une séquence de sollicitations, provoquant ainsi différents événements et enchaînements possibles qui divergent à chaque noeud de ramification (événement) de l'arbre. Les noeuds de ramification correspondent aux sollicitations auxquelles est soumis chaque composant du système de sûreté, et les branches indiquent si le composant a rempli ou non sa fonction. Cela donne une structure logique permettant d'établir un lien entre l'événement initiateur et tout événement pouvant en résulter. En outre, si l'on peut assigner une probabilité à chaque événement initiateur, la probabilité d'un événement consécutif peut être calculée mathématiquement.

II-6. Pour illustrer cette technique, prenons l'exemple suivant, qui est adapté de la publication à laquelle renvoie la référence [II-2]. Une source de rayonnements est utilisée pour irradier un objet ou une matière dans un endroit fermé tel qu'une salle d'irradiation (Fig. II-1). Cette source peut être soit un appareil à rayons X, qu'il est possible de mettre hors tension, soit une source radioactive placée dans un conteneur comportant un obturateur. Dans cet exemple hypothétique simplifié, le système de protection consiste en un dispositif de verrouillage qui met la source position sûre si quelqu'un pénètre dans la salle d'irradiation lorsque celle-ci est en service. Le premier verrou contrôle la porte de la salle d'irradiation au moyen d'un capteur. Si le capteur décèle que la porte a été ouverte, il envoie un signal à un organe commandant la fermeture de l'obturateur ou la mise hors tension de l'appareil à rayons X. Le second verrou est un capteur proximétrique installé près de la source. S'il détecte la présence d'une personne à proximité, il envoie un signal à l'organe de commande de l'obturateur ou de l'alimentation électrique.

II-7. Dans cet exemple, le fait qu'une personne pénètre dans la salle d'irradiation lorsque celle-ci est utilisée constitue l'événement initiateur. Dans la pratique, des dispositions auront bien sûr été prises pour empêcher que cela ne se produise, mais nous ne nous intéressons ici qu'à une petite partie du système de sûreté dans son ensemble. Si l'un des deux capteurs fonctionne, un signal est envoyé à l'organe de commande pour qu'il ferme la source. Toutefois, si aucun ne fonctionne, l'organe de commande ne recevra pas de signal et l'irradiation se poursuivra, ce qui se soldera par la défaillance du système de sûreté et l'exposition de la personne. De même, si l'organe de commande ne remplit pas sa fonction lorsqu'il reçoit un signal de l'un des capteurs, cela se traduira par la défaillance du système de protection. Un arbre d'événements décrivant cette situation est reproduit dans la figure II-2.

II-8. Il convient de noter que toutes les propositions inverses n'apparaissent pas dans la figure II-2. Par exemple, si aucun des capteurs ne fonctionne, l'organe de commande n'est pas sollicité et la question « l'organe de commande fonctionne-t-il ? » est donc superflue. De même, si le capteur contrôlant la porte fonctionne, la question « le capteur proximétrique fonctionne-t-il ? » est également superflue. Pour calculer la probabilité globale d'une défaillance, il est nécessaire de déterminer et d'éliminer les cheminements redondants, afin de ne conserver que ce que l'on appelle les « coupes minimales ». Il n'est pas possible de traiter cette question de façon approfondie dans le cadre de la présente annexe, mais les explications ci-après devraient suffire.

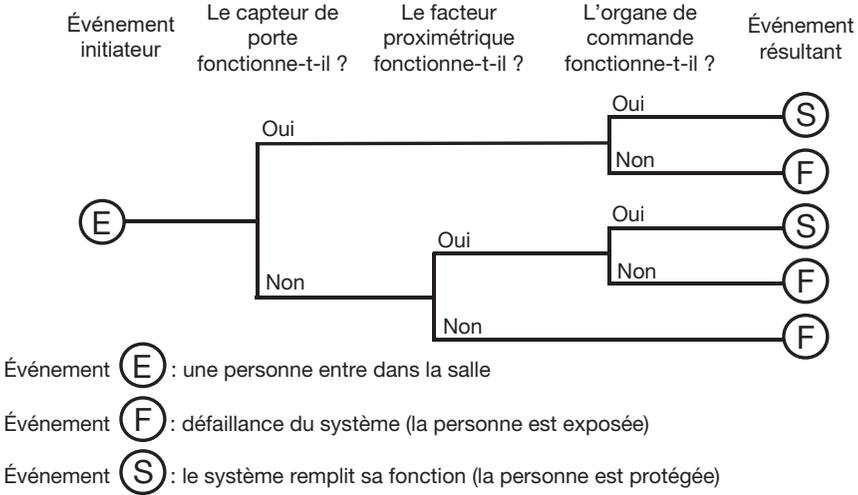


FIG. II-2. Arbre d'événements pour un système de verrouillage de sûreté simplifié.

On appelle « coupure » la défaillance d'un composant et « séquence de coupure » une combinaison de défaillances de composants entraînant la défaillance du système dans son ensemble. Une séquence de coupure minimale peut être définie comme la combinaison minimum d'événements conduisant à la défaillance du système. À titre d'illustration, envisageons toutes les défaillances possibles des composants pour l'exemple ci-dessus :

- Défaillance du capteur de porte ;
- Défaillance du capteur proximétrique ;
- Défaillance de l'organe de commande ;
- Défaillance des deux capteurs ;
- Défaillance du capteur de porte et de l'organe de commande ;
- Défaillance du capteur proximétrique et de l'organe de commande ;
- Défaillance des deux capteurs et de l'organe de commande.

Parmi ces résultats possibles a) et b) n'entraîneront pas de défaillance du système et ne constituent donc pas des séquences de coupure. Par ailleurs e), f) et g) ne constituent pas des séquences de coupure minimales, car en cas de défaillance de l'organe de commande, il importe peu que les capteurs fonctionnent. En revanche, les scénarios c) et d) constituent des séquences de coupure minimales car ils correspondent l'un et l'autre à une combinaison minimale de défaillances conduisant à la défaillance de l'ensemble du système.

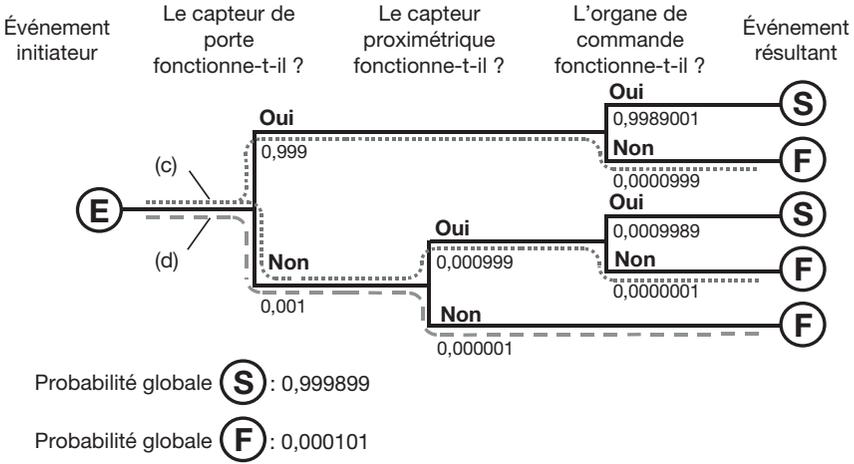


FIG. II-3. Arbre d'événements indiquant les séquences de coupure minimales.

II-9. Ces séquences de défaillances sont matérialisées dans la figure II-3 par les lignes en pointillé c) et d). Si l'on peut estimer les probabilités de défaillance de chaque composant, il est possible d'assigner des probabilités à chaque point de ramification de l'arbre, comme il est indiqué dans la figure. Si la probabilité de défaillance de chaque capteur est de 10^{-3} par sollicitation (c'est à dire une fois pour 1000 entrées dans la salle d'irradiation) et la probabilité de défaillance de l'organe de commande est de 10^{-4} , la probabilité¹ totale de défaillance est de $1,01 \times 10^{-4}$.

II-10. Il ressort immédiatement de cette analyse que le maillon le plus faible de la chaîne est l'organe de commande, le risque de défaillance de celui-ci étant 100 fois plus élevé que le risque de défaillance des deux capteurs. Pour améliorer la sûreté, il faut soit utiliser un organe de commande plus fiable, soit installer en parallèle un organe de commande redondant. Cela montre l'intérêt de cette méthode d'analyse du point de vue de la sensibilité : elle permet de déterminer quels sont les composants cruciaux d'un système qui contribuent le plus au risque global de défaillance.

¹ Ces calculs sont présentés à titre d'exemple pour montrer comment la méthode fonctionne, mais un tel degré de précision n'est pas réaliste. Dans la pratique, un seul chiffre significatif devrait suffire.

Analyse par arbre de défaillance

II-11. Un arbre de défaillance permet d'analyser un système de sûreté du point de vue du résultat final (défaillance), appelé 'événement redouté'. Élaborer un arbre de défaillance revient à prendre l'arbre d'événements à rebours, les composants du système de sûreté étant analysés dans l'ordre inverse afin de déterminer ce qui a causé l'événement redouté. Des symboles logiques booléens sont aussi expressément intégrés dans les arbres de défaillance, ce qui rend leur évaluation et en particulier l'analyse numérique des risques plus faciles que dans le cas des arbres d'événements. Ils se différencient aussi de ces derniers par le fait qu'ils peuvent être multinodaux (autrement dit, un noeud ou un symbole logique peut être lié à plusieurs événements précédents, alors que les arbres d'événements n'ont que des fourches à deux branches).

II-12. Un arbre de défaillance simple correspondant au système de verrouillage décrit plus haut est présenté dans la figure II-4. Les rectangles représentent des événements, et l'arbre logique établit le lien entre l'événement redouté et l'événement initiateur. L'utilité des portes logiques est manifeste : les portes ET correspondent à des probabilités multiplicatives, alors que les portes OU correspondent à des probabilités additives.

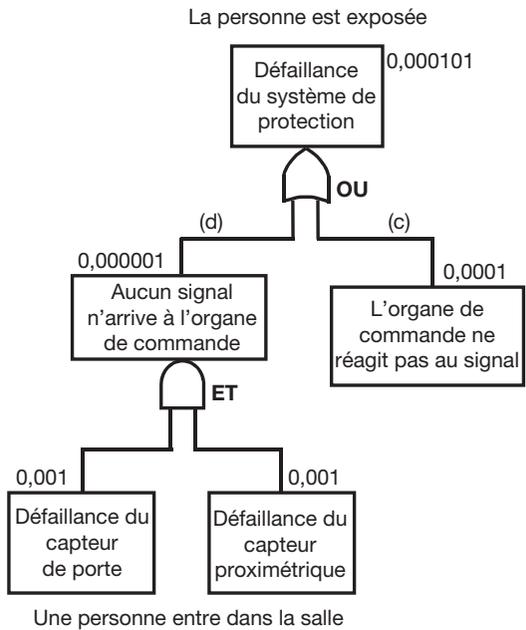


FIG. II-4. Arbre de défaillance pour un système de verrouillage de sécurité simplifié.

Détermination des séquences de défaillance

II-13. Bien que les arbres d'événements et les arbres de défaillance donnent des représentations graphiques utiles des séquences d'événements, les événements eux-mêmes et les scénarios dans lesquels ils s'inscrivent seront analysés en examinant chacun des éléments du système de sûreté et leurs relations d'interdépendance et en déterminant les problèmes qui pourraient survenir. Il existe plusieurs méthodes éprouvées qui permettent d'effectuer de telles analyses, par exemple l'analyse de risques et d'exploitabilité (Hazop) et l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDEC). Les études de risques et d'exploitabilité consistent à analyser chaque composant d'un système sous l'angle des écarts par rapport au mode d'exploitation envisagé. Les écarts sont qualifiés par des mots clés tels que 'aucun des', 'plus de', 'une partie des' et 'moins que' ; les causes possibles d'un écart sont analysées et une liste de ses effets est dressée. L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets est une méthode similaire dont l'objet principal est de déterminer les modes de défaillance et leurs conséquences. Les composants sont présentés sous la forme d'un tableau indiquant pour chaque entrée le mode de défaillance du composant, les causes possibles de celle-ci et ses effets sur les composants adjacents ou suivants.

Analyse de la fiabilité humaine

II-14. L'expérience montre que l'intervention humaine (ou l'absence d'intervention) est souvent un facteur majeur en cas d'exposition accidentelle aux rayonnements. Par conséquent, une attention spéciale doit être accordée au comportement humain, en particulier en période de stress. Bien que les méthodes examinées plus haut aient été initialement mises au point pour évaluer des dispositifs ou des systèmes et des processus mécaniques, elles peuvent également servir à étudier les facteurs humains qui ont une incidence sur la sûreté. L'analyse de la fiabilité humaine est une méthode qui a été mise au point pour examiner les facteurs humains dans l'exécution d'une activité et qui consiste à procéder à des analyses tant qualitatives que quantitatives des erreurs humaines et des tâches pour déterminer les effets d'erreurs humaines éventuelles sur un système.

II-15. L'inadéquation de la réaction humaine à une sollicitation peut être prise en compte en considérant l'homme comme un composant du système de sûreté. La quantification de l'erreur humaine est une opération difficile pour laquelle il faut tenir compte d'un certain nombre de facteurs définissant le contexte dans lequel survient une erreur, tels que la formation préalable, les

conditions de travail et le stress. Bien qu'un taux d'erreur humaine de 10^{-3} par sollicitation soit considéré comme une hypothèse raisonnable pour de nombreuses situations complexes, les facteurs mentionnés plus haut [II-2] peuvent faire monter ce taux à 10^{-2} par sollicitation, voire davantage. Une augmentation de la probabilité de répétition d'une erreur est également possible si les erreurs précédentes n'ont pas produit des effets indésirables reconnus comme tels. L'analyse de la fiabilité humaine est largement utilisée dans les évaluations probabilistes de la sûreté des centrales nucléaires [II-3], et une grande partie de l'expérience acquise dans ce contexte est transposable à l'utilisation des sources de rayonnements. Cependant, cette méthode ne permet pas de prendre dûment en considération les interventions qui constituent une violation flagrante des procédures d'exploitation, telles que le contournement délibéré des dispositifs de sûreté.

RÉFÉRENCES DE L'ANNEXE II

- [II-1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants (Level 1), Safety Series No. 50-P-4, IAEA, Vienna (1992).
- [II-2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources, Publication 76, Pergamon Press, Oxford and New York (1997).
- [II-3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Human Reliability Analysis in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, Safety Series No. 50-P-10, IAEA, Vienna (1995).

PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À LA RÉVISION DU TEXTE

Mason, G.C.	Agence internationale de l'énergie atomique
McEwan, A.	Consultant, Nouvelle-Zélande
Oresegun, M.	Agence internationale de l'énergie atomique
Ortiz-López, P.	Agence internationale de l'énergie atomique
Paynter, R.	National Radiological Protection Board, Royaume-Uni
Reber, E.	Agence internationale de l'énergie atomique
Wheatley, J.	Agence internationale de l'énergie atomique

La présente publication a été remplacée par de nombreuses publications existantes de l'AIEA.

ORGANES CONSULTATIFS POUR L'APPROBATION DES NORMES DE SÛRETÉ

Les membres correspondants sont signalés par un astérisque. Ils reçoivent les projets de textes pour observations ainsi que d'autres documents mais ils ne participent pas généralement aux réunions.

Commission consultative pour les normes de sûreté

Afrique du Sud : Magugumela, M.T. ; Allemagne : Majer, D. ; Argentine : Oliveira, A. ; Australie : Loy, J. ; Brésil : Souza de Assis, A. ; Canada : Pereira, J.K. ; Chine : Li, G. ; Danemark : Ulbak, K. ; Égypte : Abdel Hamid, S.B. ; Espagne : Azuara, J.A. ; États-Unis d'Amérique : Virgilio, M. ; Fédération de Russie : Malyshev, A.B. ; France : Lacoste, A.-C. (Président) ; Inde : Sharma, S.K. ; Israël : Levanon, I. ; Japon : Abe, K. ; Pakistan : Hashmi, J. ; République de Corée : Eun, Y.-S. ; République tchèque : Drábová, D. ; Royaume-Uni : Weightman, M. ; Suède : Holm, L.E. ; Suisse : Schmocker, U. ; Commission européenne : Waeterloos, C. ; AIEA : Karbassioun, A. (Coordonnateur), Commission internationale de protection radiologique : Holm, L.-E. ; Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire : Tanaka, T.

Comité consultatif pour les normes de sûreté nucléaire

*Afrique du Sud : Bester, P.J. ; Allemagne : Herttrich, M. ; Argentine : Sajaroff, P. ; Australie : MacNab, D. ; Autriche : Sholly, S. ; Belgique : Govaerts, P. ; Brésil : De Queiroz Bogado Leite, S. ; * Bulgarie : Gantchev, Y. ; Canada : Newland, D. ; Chine : Wang, J. ; Croatie : Valcic, I. ; * Chypre : Demetriades, P. ; Égypte : Aly, A.I.M. ; Espagne : Zarzuela, J. ; État-Unis d'Amérique : Mayfield, M.E. ; Fédération de Russie : Shvetsov, Y.E. ; Finlande : Reiman, L. (Président) ; France : Saint Raymond, P. ; * Grèce : Camarinopoulos, L. ; Hongrie : Vöröss, L. ; Inde : Kushwaha, H.S. ; * Irak : Khalil Al-Kamil, A.-M. ; Iran (République islamique d') : Alidousti, A. ; Irlande : Hone, C. ; Israël : Hirshfeld, H. ; Italie : Bava, G. ; Japon : Nakamura, K. ; Lituanie : Demcenko, M. ; Mexique : González Mercado, V. ; Pakistan : Habib, MA ; Paraguay : Troche Figueredo, G.D. ; Pays-Bas : Jansen, R. ; * Pérou : Ramírez Quijada, R. ; Portugal : Marques, J.J.G. ; République de Corée : Kim, H.-K. ; République tchèque : Böhm, K. ; Roumanie : Biro, L. ; Royaume-Uni : Vaughan, G.J. ; Slovaquie : Uhrík, P. ; Slovénie : Levstek, M.F. ; Suède : Hallman, A. ; Suisse : Aeberli, W. ; * Thaïlande : Tanipanichskul, P. ; Turquie : Bezdegumeli, U. ; Ukraine : Bezsalyi, V. ; Commission européenne : Vigne, S. ; AIEA : Feige, G. (Coordonnateur), Organisation internationale de normalisation : Nigon, J.L. ; Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire : Reig, J. ; * World Nuclear Association : Saint-Pierre, S.*

Comité consultatif pour les normes de sûreté radiologique

Afrique du Sud : Olivier, J.H.I. ; *Allemagne* : Landfermann, H. ; *Argentine* : Rojkind, R.H.A. ; *Australie* : Melbourne, A. ; * *Bélarus* : Rydlevski, L. ; *Belgique* : Smeesters, P. ; *Brésil* : Rodriguez Rochedo, E.R. ; * *Bulgarie* : Katzarska, L. ; *Canada* : Clement, C. ; *Chine* : Yang, H. ; * *Chypre* : Demetriades, P. ; *Costa Rica* : Pacheco Jimenez, R. ; *Cuba* : Betancourt Hernandez, L. ; *Danemark* : Ohlenschlager, M. ; * *Égypte* : Hassib, G.M. ; *Espagne* : Amor, I. ; *États-Unis d'Amérique* : Miller, C. ; *Fédération de Russie* : Savkin, M. ; *Finlande* : Markkanen, M. ; *France* : Godet, J. ; * *Grèce* : Kamenopoulou, V. ; *Hongrie* : Koblinger, L. ; *Inde* : Sharma, D.N. ; *Indonésie* : Akhadi, M. ; * *Irak* : Khalil Al-Kamil, A.-M. ; *Iran (République islamique d')* : Rastkhah, N. ; *Irlande* : Colgan, T. ; *Islande* : Magnusson, S. (Président) ; *Israël* : Laichter, Y. ; *Italie* : Bologna, L. ; *Japon* : Yoda, N. ; *Lettonie* : Salmins, A. ; *Malaisie* : Rehir, D. ; *Maroc* : Tazi, S. ; *Mexique* : Maldonado Mercado, H. ; *Norvège* : Saxebol, G. ; *Pakistan* : Mehboob, A.E. ; *Paraguay* : Idoyago Navarro, M. ; *Pays-Bas* : Zuur, C. ; *Philippines* : Valdezco, E. ; *Portugal* : Dias de Oliveira, A. ; *République de Corée* : Lee, B. ; *République tchèque* : Petrova, K. ; *Roumanie* : Rodna, A. ; *Royaume-Uni* : Robinson, I. ; *Slovaquie* : Jurina, V. ; *Slovénie* : Sutej, T. ; *Suède* : Hofvander, P. ; *Suisse* : Pfeiffer, H.J. ; * *Thaïlande* : Wanitsuksombut, W. ; *Turquie* : Okyar, H. ; *Ukraine* : Holubiev, V. ; *Commission européenne* : Janssens, A. ; *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture* : Byron, D. ; *AIEA* : Boal, T. (Coordonnateur), *Commission internationale de protection radiologique* : Valentin, J. ; *Bureau international du travail* : Niu, S. ; *Organisation internationale de normalisation* : Perrin, M. ; *Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire* : Lazo, T. ; *Organisation panaméricaine de la santé* : Jimenez, P. ; *Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants* : Crick, M. ; *Organisation mondiale de la santé* : Carr, Z. ; *World Nuclear Association* : Saint-Pierre, S.

Comité consultatif pour les normes de sûreté relatives au transport

Afrique du Sud : Jutle, K. ; *Allemagne* : Rein, H. ; *Argentine* : López Vietri, J. ; *Australie* : Sarkar, S. ; *Autriche* : Kirchnawy, F. ; *Belgique* : Cottens, E. ; *Brésil* : Mezrahi, A. ; *Bulgarie* : Bakalova, A. ; *Canada* : Faille, S. ; *Chine* : Qu, Z. ; * *Chypre* : Demetriades, P. ; *Croatie* : Kubelka, D. ; *Cuba* : Quevedo Garcia, J.R. ; *Danemark* : Breddan, K. ; * *Égypte* : El-Shinawy, R.M.K. ; *Espagne* : Zamora Martin, F. ; *États-Unis d'Amérique* : Brach, W.E. ; Boyle, R. ; *Fédération de Russie* : Ershov, V.N. ; *Finlande* : Tikkinen, J. ; *France* : Aguilar, J. ; * *Grèce* : Vogiatzi, S. ; *Hongrie* : Sáfár, J. ; *Inde* : Agarwal, S.P. ; * *Irak* : Khalil Al-Kamil, A.-M. ; *Iran (République islamique d')* : Kardan, M.R. ; *Irlande* : Duffy, J.

(Président) ; *Israël* : Koch, J. ; *Italie* : Trivelloni, S. ; *Japon* : Amano, M. ; *Malaisie* : Sobari, M.P.M. ; *Norvège* : Hornkjøl, S. ; *Nouvelle-Zélande* : Ardouin, C. ; *Pakistan* : Rashid, M. ; *Paraguay* : More Torres, L.E. ; *Pays-Bas* : Van Halem, H. ; *Philippines* : Kinilitan - Parami, V. ; *Portugal* : Buxo da Trindade, R. ; *République de Corée* : Kim, Y.-J. ; *République tchèque* : Ducháček, V. ; *Roumanie* : Vieru, G. ; *Royaume-Uni* : Young, C.N. ; *Suède* : Dahlin, G. ; *Suisse* : Knecht, B. ; * *Thaïlande* : Wanitsuksombut, W. ; *Turquie* : Ertürk, K. ; *Ukraine* : Sakalo, V. ; *Commission européenne* : Venchiarutti, J.-C. ; *Association du transport aérien international* : Abouchaar, J. ; *AIEA* : Wangler, M.E. (Coordonnateur), *Organisation de l'aviation civile internationale* : Rooney, K. ; *Fédération internationale des associations de pilotes de ligne* : Tisdall, A., *Organisation maritime internationale* : Rahim, I., *Organisation internationale de normalisation* : Malesys, P. ; *Commission économique des Nations Unies pour l'Europe* : Kervella, O. ; *Union postale universelle* : Giroux, P. ; *World Nuclear Transport Institute* : Green, L.

Comité consultatif pour les normes de sûreté relatives aux déchets

Afrique du Sud : Pather, T. (Président) ; *Argentine* : Siraky, G. ; *Australie* : Williams, G. ; *Autriche* : Hohenberg, J. ; *Belgique* : Baekelandt, L. ; *Brésil* : Heilbron, P. ; * *Bulgarie* : Simeonov, G. ; *Canada* : Lojk, R. ; *Chine* : Fan, Z. ; * *Chypre* : Demetriades, P. ; *Croatie* : Subasic, D. ; *Cuba* : Salgado Mojena, M. ; *Danemark* : Nielsen, C. ; * *Égypte* : El-Adham, K.E.A. ; *Espagne* : Sanz, M. ; *États-Unis d'Amérique* : Camper, L. ; *Fédération de Russie* : Poluektov, P.P. ; *Finlande* : Ruokola, E. ; *France* : Cailleton, R. ; *Hongrie* : Czoch, I. ; *Inde* : Raj, K. ; *Indonésie* : Yatim, S. ; * *Irak* : Abass, H. ; *Iran (République islamique d')* : Ettehadian, M. ; *Israël* : Dody, A. ; *Italie* : Dionisi, M. ; *Japon* : Ito, Y. ; * *Lettonie* : Salmins, A. ; *Lituanie* : Paulikas, V. ; *Maroc* : Soufi, I. ; *Mexique* : Aguirre Gómez, J. ; * *Norvège* : Sorlie, A. ; *Pakistan* : Rehman, R. ; *Paraguay* : Facetti Fernandez, J. ; *Pays-Bas* : Selling, H. ; *Portugal* : Flausino de Paiva, M. ; *République de Corée* : Park, W. ; * *République tchèque* : Lieteva, P. ; *Roumanie* : Tuturici, I. ; *Royaume-Uni* : Wilson, C. ; *Slovaquie* : Konečný, L. ; *Slovénie* : Mele, I. ; *Suède* : Wingefors, S. ; *Suisse* : Zurkinden, A. ; *Turquie* : Özdemir, T. ; *Ukraine* : Ievlev, S. ; *Commission européenne* : Hilden, W. ; *AIEA* : Hioki, K. (Coordonnateur), *Organisation internationale de normalisation* : Hutson, G. ; *Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire* : Riotte, H. ; *World Nuclear Association* : Saint-Pierre, S.

Des normes internationales pour la sûreté

« Les normes de l'AIEA sont devenues un élément clé du régime mondial de sûreté des utilisations bénéfiques des techniques nucléaires et radiologiques. »

« Les normes de sûreté de l'AIEA sont appliquées à la production d'électricité d'origine nucléaire, ainsi qu'en médecine, dans l'industrie, en agriculture, et dans la recherche et l'enseignement pour protéger les personnes et l'environnement. »

Mohamed ElBaradei
Directeur général de l'AIEA

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE

ISBN 978-92-0-212208-6

ISSN 1020-5829