

Normes de sûreté de l'AIEA

pour la protection des personnes et de l'environnement

Sûreté radiologique en radiographie industrielle

Guide de sûreté thématique

N° SSG-11



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA ET PUBLICATIONS CONNEXES

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 l'application de ces normes.

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, et comporte les catégories suivantes : **fondements de sûreté, prescriptions de sûreté et guides de sûreté**.

Des informations sur le programme de normes de sûreté de l'AIEA sont disponibles sur le site internet de l'AIEA :

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

Le 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 sûreté de l'AIEA et un rapport d'étape sur les normes de sûreté en préparation sont aussi disponibles. Pour d'autres informations, il convient de contacter l'AIEA à l'adresse suivante : BP 100, 1400 Vienne (Autriche).

Tous les utilisateurs des normes de sûreté sont invités à faire connaître à l'AIEA l'expérience qu'ils ont de cette utilisation (c'est-à-dire comme base de la réglementation nationale, pour des examens de la sûreté, pour des cours) afin que les normes continuent de répondre aux besoins des utilisateurs. Les informations peuvent être données sur le site internet de l'AIEA, par courrier (à l'adresse ci-dessus) ou par courriel (Official.Mail@iaea.org).

PUBLICATIONS CONNEXES

L'AIEA prend des dispositions pour l'application des normes et, en vertu des articles III et VIII C 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 la **collection Rapports de sûreté**. Ces rapports donnent des exemples concrets et proposent des méthodes détaillées à l'appui des normes de sûreté.

Les autres publications de l'AIEA concernant la sûreté paraissent dans les collections **Radiological Assessment Reports, INSAG Reports** (Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire), **Technical Reports** et **TECDOC**. L'AIEA édite aussi des rapports sur les accidents radiologiques, des manuels de formation et des manuels pratiques, ainsi que d'autres publications spéciales concernant la sûreté.

Les publications ayant trait à la sécurité paraissent dans la **collection Sécurité nucléaire de l'AIEA**.

La **collection Énergie nucléaire de l'AIEA** est constituée de publications informatives dont le but est d'encourager et de faciliter le développement et l'utilisation pratique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, ainsi que la recherche dans ce domaine. Elle comprend des rapports et des guides sur l'état de la technologie et sur ses avancées, ainsi que sur des données d'expérience, des bonnes pratiques et des exemples concrets dans les domaines de l'électronucléaire, du cycle du combustible nucléaire, de la gestion des déchets radioactifs et du déclassément.

SÛRETÉ RADIOLOGIQUE
EN RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE

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

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

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 ».

COLLECTION
NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA N° SSG-11

SÛRETÉ RADIOLOGIQUE EN RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE

GUIDE DE SÛRETÉ THÉMATIQUE

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE, 2013

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 promotion et de la vente, Section d'édition
Agence internationale de l'énergie atomique
Centre international de Vienne
B.P. 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, 2013

Imprimé par l'AIEA en Autriche
Mai 2013

SÛRETÉ RADIOLOGIQUE
EN RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE
AIEA, VIENNE, 2013
STI/PUB/1466
ISBN 978-92-0-236610-7
ISSN 1020-5829

AVANT-PROPOS

de Yukiya Amano
Directeur général

De par son Statut, l'Agence a pour attribution « 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 » – normes qu'elle doit appliquer à ses propres opérations et que les États peuvent appliquer en adoptant les dispositions réglementaires nécessaires en matière de sûreté nucléaire et radiologique. L'AIEA remplit cette mission en consultation avec les organes compétents des Nations Unies et les institutions spécialisées intéressées. Un ensemble complet de normes de grande qualité faisant l'objet d'un réexamen régulier est un élément clé d'un régime mondial de sûreté stable et durable, tout comme l'est l'assistance de l'AIEA pour l'application de ces normes.

L'AIEA a débuté son programme de normes de sûreté en 1958. L'accent ayant été mis sur la qualité, l'adéquation à l'usage final et l'amélioration constante, le recours aux normes de l'AIEA s'est généralisé dans le monde entier. La collection Normes de sûreté comprend désormais une série unifiée de principes fondamentaux de sûreté qui sont l'expression d'un consensus international sur ce qui doit constituer un degré élevé de protection et de sûreté. Avec l'appui solide de la Commission des normes de sûreté, l'AIEA s'efforce de promouvoir l'acceptation et l'application de ses normes dans le monde.

Les normes ne sont efficaces que si elles sont correctement appliquées dans la pratique. Les services de l'AIEA en matière de sûreté englobent la sûreté de la conception, du choix des sites et de l'ingénierie, la sûreté d'exploitation, la sûreté radiologique, la sûreté du transport des matières radioactives et la gestion sûre des déchets radioactifs, ainsi que l'organisation gouvernementale, les questions de réglementation, et la culture de sûreté dans les organisations. Ces services aident les États Membres dans l'application des normes et permettent de partager des données d'expérience et des idées utiles.

Réglementer la sûreté est une responsabilité nationale et de nombreux États ont décidé d'adopter les normes de l'AIEA dans leur réglementation nationale. Pour les parties 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 organismes de réglementation et les exploitants partout dans le monde pour accroître la sûreté de la production d'énergie d'origine nucléaire et des applications nucléaires en médecine et dans l'industrie, l'agriculture et la recherche.

La sûreté n'est pas une fin en soi mais est une condition sine qua non de la protection des personnes dans tous les États et de l'environnement, aujourd'hui et à l'avenir. Il faut évaluer et maîtriser les risques associés aux rayonnements ionisants sans limiter indûment le rôle joué par l'énergie nucléaire dans le développement équitable et durable. Les gouvernements, les organismes de réglementation et les exploitants, où qu'ils soient, doivent veiller à ce que les matières nucléaires et les sources de rayonnements soient utilisées de manière bénéfique, sûre et éthique. Les normes de sûreté de l'AIEA sont conçues pour faciliter cette tâche, et j'encourage tous les États Membres à les utiliser.

LES NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA

CONTEXTE

La radioactivité est un phénomène naturel et des sources naturelles de rayonnements sont présentes dans l'environnement. Les rayonnements et les substances radioactives ont de nombreuses applications utiles, allant de la production d'électricité aux applications médicales, industrielles et agricoles. Les risques radiologiques pour les travailleurs, le public et l'environnement pouvant découler de ces applications doivent être évalués et, le cas échéant, contrôlés.

Des activités telles que les utilisations médicales des rayonnements, l'exploitation des installations nucléaires, la production, le transport et l'utilisation de matières radioactives, et la gestion de déchets radioactifs doivent donc être soumises à des normes de sûreté.

Réglementer la sûreté est une responsabilité nationale. Cependant, les risques radiologiques peuvent dépasser les frontières nationales, et la coopération internationale sert à promouvoir et à renforcer la sûreté au niveau mondial par l'échange de données d'expérience et l'amélioration des capacités de contrôle des risques afin de prévenir les accidents, d'intervenir dans les cas d'urgence et d'atténuer toute conséquence dommageable.

Les États ont une obligation de diligence et un devoir de précaution, et doivent en outre remplir leurs obligations et leurs engagements nationaux et internationaux.

Les normes de sûreté internationales aident les États à s'acquitter de leurs obligations en vertu de principes généraux du droit international, tels que ceux ayant trait à la protection de l'environnement. Elles servent aussi à promouvoir et à garantir la confiance dans la sûreté, ainsi qu'à faciliter le commerce international.

Le régime mondial de sûreté nucléaire fait l'objet d'améliorations continues. Les normes de sûreté de l'AIEA, qui soutiennent la mise en œuvre des instruments internationaux contraignants et les infrastructures nationales de sûreté, sont une pierre angulaire de ce régime mondial. Elles constituent un outil que les parties contractantes peuvent utiliser pour évaluer leur performance dans le cadre de ces conventions internationales.

LES NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA

Le rôle des normes de sûreté de l'AIEA découle du Statut, qui autorise l'AIEA à établir ou adopter, en consultation et, le cas échéant, en collaboration avec les organes compétents des Nations Unies et avec les institutions spécialisées intéressées, 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 à prendre des dispositions pour l'application de ces normes.

Afin d'assurer la protection des personnes et de l'environnement contre les effets dommageables des rayonnements ionisants, les normes de sûreté de l'AIEA établissent des principes de sûreté fondamentaux, des prescriptions et des mesures pour contrôler l'exposition des personnes et le rejet de matières radioactives dans l'environnement, pour restreindre la probabilité d'événements qui pourraient entraîner la perte du contrôle du cœur d'un réacteur nucléaire, et pour atténuer les conséquences de tels événements s'ils se produisent. Les normes s'appliquent aux installations et aux activités qui donnent lieu à des risques radiologiques, y compris les installations nucléaires, à l'utilisation des rayonnements et des sources radioactives, au transport des matières radioactives et à la gestion des déchets radioactifs.

Les mesures de sûreté et les mesures de sécurité¹ ont en commun l'objectif de protéger les vies et la santé humaines ainsi que l'environnement. Ces mesures doivent être conçues et mises en œuvre de manière intégrée de sorte que les mesures de sécurité ne portent pas préjudice à la sûreté et que les mesures de sûreté ne portent pas préjudice à la sécurité.

Les normes de sûreté de l'AIEA sont l'expression d'un consensus international sur ce qui constitue un degré élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement contre les effets dommageables des rayonnements ionisants. Elles sont publiées dans la collection Normes de sûreté de l'AIEA, qui est constituée de trois catégories (voir la figure 1).

Fondements de sûreté

Les fondements de sûreté présentent les objectifs et les principes de protection et de sûreté qui constituent la base des prescriptions de sûreté.

Prescriptions de sûreté

Un ensemble intégré et cohérent de prescriptions de sûreté établit les prescriptions qui doivent être respectées pour assurer la protection des personnes et de l'environnement, actuellement et à l'avenir. Les prescriptions sont régies par les objectifs et principes présentés dans les fondements de sûreté. S'il n'y est pas satisfait, des mesures doivent être prises pour atteindre ou rétablir le niveau de sûreté requis. La présentation et le style des prescriptions facilitent leur utilisation pour l'établissement, de manière harmonisée, d'un cadre réglementaire national. Ces prescriptions, notamment les prescriptions globales numérotées, sont rédigées au présent de l'indicatif. De nombreuses prescriptions ne s'adressent pas

¹ Voir aussi les publications parues dans la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA.

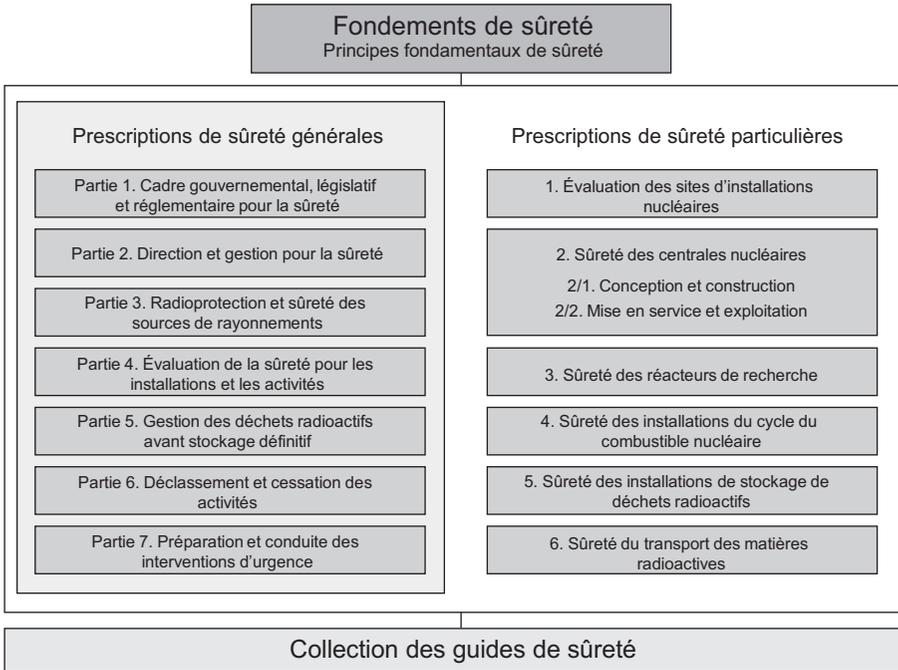


FIG. 1. Structure à long terme de la collection Normes de sûreté de l'AIEA.

à une partie en particulier, ce qui signifie que la responsabilité de leur application revient à toutes les parties concernées.

Guides de sûreté

Les guides de sûreté contiennent des recommandations et des orientations sur la façon de se conformer aux prescriptions de sûreté, traduisant un consensus international selon lequel il est nécessaire de prendre les mesures recommandées (ou des mesures équivalentes). Ces guides présentent les bonnes pratiques internationales et reflètent de plus en plus les meilleures d'entre elles pour aider les utilisateurs à atteindre des niveaux de sûreté élevés. Les recommandations qu'ils contiennent sont énoncées au conditionnel.

APPLICATION DES NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA

Les principaux utilisateurs des normes de sûreté dans les États Membres de l'AIEA sont les organismes de réglementation et d'autres autorités nationales pertinentes. Les normes de sûreté de l'AIEA sont aussi utilisées par les organisations parrainantes et par de nombreux organismes qui conçoivent,

construisent et exploitent des installations nucléaires, ainsi que par les utilisateurs de rayonnements et de sources radioactives.

Les normes de sûreté de l'AIEA sont applicables, selon que de besoin, pendant la durée de vie de toutes les installations et activités, existantes et nouvelles, utilisées à des fins pacifiques ainsi qu'aux mesures de protection visant à réduire les risques radiologiques existants. Les États peuvent les utiliser comme référence pour la réglementation nationale concernant les installations et les activités.

En vertu de son Statut, l'AIEA est tenue d'appliquer les normes de sûreté à ses propres opérations et les États doivent les appliquer aux opérations pour lesquelles l'AIEA fournit une assistance.

Les normes de sûreté sont aussi utilisées par l'AIEA comme référence pour ses services d'examen de la sûreté, ainsi que pour le développement des compétences, y compris l'élaboration de programmes de formation théorique et de cours pratiques.

Les conventions internationales contiennent des prescriptions semblables à celles des normes de sûreté qui sont juridiquement contraignantes pour les parties contractantes. Les normes de sûreté de l'AIEA, complétées par les conventions internationales, les normes industrielles et les prescriptions nationales détaillées, constituent une base cohérente pour la protection des personnes et de l'environnement. Il y a aussi des aspects particuliers de la sûreté qui doivent être évalués à l'échelle nationale. Par exemple, de nombreuses normes de sûreté de l'AIEA, en particulier celles portant sur les aspects de la sûreté relatifs à la planification ou à la conception, sont surtout applicables aux installations et activités nouvelles. Les prescriptions établies dans les normes de sûreté de l'AIEA peuvent n'être pas pleinement satisfaites par certaines installations existantes construites selon des normes antérieures. Il revient à chaque État de déterminer le mode d'application des normes de sûreté de l'AIEA dans le cas de telles installations.

Les considérations scientifiques qui sous-tendent les normes de sûreté de l'AIEA constituent une base objective pour les décisions concernant la sûreté ; cependant, les décideurs doivent également juger en connaissance de cause et déterminer la meilleure manière d'équilibrer les avantages d'une mesure ou d'une activité par rapport aux risques radiologiques et autres qui y sont associés ainsi qu'à tout autre impact négatif qui en découle.

PROCESSUS D'ÉLABORATION DES NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA

La préparation et l'examen des normes de sûreté sont l'œuvre commune du Secrétariat de l'AIEA et de quatre comités — le Comité des normes de sûreté

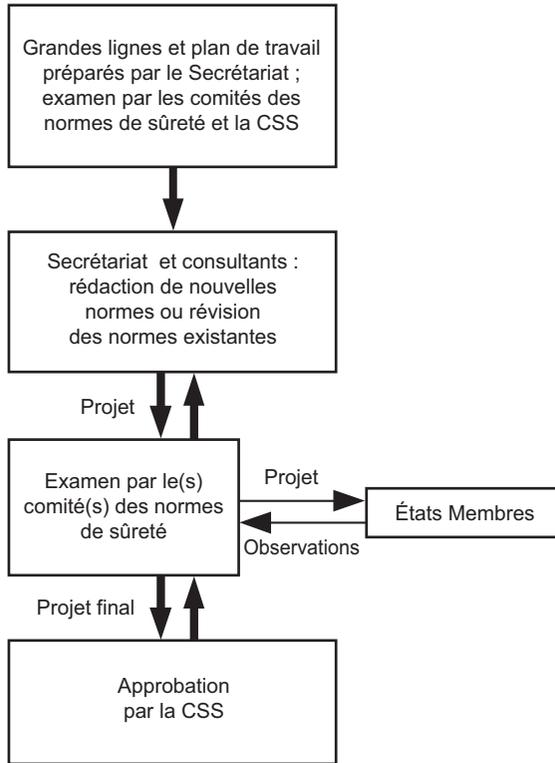


FIG. 2. Processus d'élaboration d'une nouvelle norme de sûreté ou de révision d'une norme existante.

nucléaire (NUSSC), le Comité des normes de sûreté radiologique (RASSC), le Comité des normes de sûreté des déchets (WASSC), le Comité des normes de sûreté du transport (TRANSSC) — et de la Commission des normes de sûreté (CSS), qui supervise tout le programme des normes de sûreté (voir la figure 2).

Tous les États Membres de l'AIEA peuvent nommer des experts pour siéger dans ces comités et présenter des observations sur les projets de normes. Les membres de la Commission des normes de sûreté sont nommés par le Directeur général et comprennent des responsables de la normalisation au niveau national.

Un système de gestion a été mis en place pour la planification, l'élaboration, le réexamen, la révision et l'établissement des normes de sûreté de l'AIEA. Il structure le mandat de l'AIEA, la vision de l'application future des normes, politiques et stratégies de sûreté, et les fonctions et responsabilités correspondantes.

INTERACTION AVEC D'AUTRES ORGANISATIONS INTERNATIONALES

Les conclusions du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) et les recommandations d'organismes internationaux spécialisés, notamment de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), sont prises en compte lors de l'élaboration des normes de sûreté de l'AIEA. Certaines normes de sûreté sont élaborées en collaboration avec d'autres organismes des Nations Unies ou d'autres organisations spécialisées, dont l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'Organisation internationale du Travail, l'Organisation mondiale de la santé, l'Organisation panaméricaine de la santé et le Programme des Nations Unies pour l'environnement.

INTERPRÉTATION DU TEXTE

Les termes relatifs à la sûreté ont le sens donné dans le Glossaire de sûreté de l'AIEA (<http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>). Pour les guides de sûreté, c'est la version anglaise qui fait foi.

Le contexte de chaque volume de la collection Normes de sûreté de l'AIEA et son objectif, sa portée et sa structure sont expliqués dans le chapitre premier (introduction) de chaque publication.

Les informations qui ne trouvent pas leur place dans le corps du texte (par exemple celles qui sont subsidiaires ou séparées du corps du texte, sont incluses pour compléter des passages du texte principal ou décrivent des méthodes de calcul, des procédures ou des limites et conditions) peuvent être présentées dans des appendices ou des annexes.

Lorsqu'une norme comporte un appendice, celui-ci est réputé faire partie intégrante de la norme. Les informations données dans un appendice ont le même statut que le corps du texte et l'AIEA en assume la paternité. Les annexes et notes de bas de page du texte principal ont pour objet de donner des exemples concrets ou des précisions ou explications. Elles ne sont pas considérées comme faisant partie intégrante du texte principal. Les informations contenues dans les annexes n'ont pas nécessairement l'AIEA pour auteur ; les informations publiées par d'autres auteurs figurant dans des normes de sûreté peuvent être présentées dans des annexes. Les informations provenant de sources extérieures présentées dans les annexes sont adaptées pour être d'utilité générale.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
	Généralités (1.1–1.5)	1
	Objectif (1.6–1.7)	2
	Champ d’application (1.8–1.11)	3
	Structure (1.12–1.14)	3
2.	OBLIGATIONS ET RESPONSABILITÉS	4
	Généralités (2.1)	4
	L’organisme exploitant (2.2–2.12)	4
	Les responsables de la radioprotection (2.13–2.15)	7
	Les experts qualifiés (2.16–2.18)	9
	Les travailleurs (2.19–2.25)	9
	Le client (2.26–2.30)	11
3.	ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ	12
	Généralités (3.1–3.3)	12
	Méthodologie associée à l’évaluation de la sûreté (3.4)	13
	Résultats de l’évaluation de la sûreté (3.5)	13
	Examens de l’évaluation de la sûreté (3.6)	14
4.	PROGRAMME DE RADIOPROTECTION	14
	Objectifs et champ d’application (4.1–4.3)	14
	Structure et contenu (4.4–4.5)	15
	Structure hiérarchique et règles de conduite (4.6–4.27)	16
	Dossier sur l’évaluation de la sûreté (4.28)	21
	Comité de sûreté radiologique (4.29)	21
5.	FORMATION ET QUALIFICATION	22
	Généralités (5.1–5.2)	22
	Élaboration du programme de formation (5.3–5.5)	22
	Structure et contenu des formations (5.6–5.7)	23
	Rafraîchissement des connaissances (5.8–5.9)	24

6.	CONTRÔLE RADIOLOGIQUE INDIVIDUEL DES TRAVAILLEURS	25
	Évaluation de la dose individuelle (6.1–6.5)	25
	Détecteurs d’alarme individuels (6.6–6.9)	26
	Dosimètres actifs (6.10–6.14)	27
	Conservation des données enregistrées (6.15–6.18)	28
	Investigations relatives aux doses reçues (6.19)	29
	Surveillance de la santé (6.20)	29
7.	CONTRÔLE RADIOLOGIQUE DU LIEU DE TRAVAIL	30
	Programme de contrôle radiologique (7.1–7.2)	30
	Sélection, maintenance et étalonnage des radimètres (7.3–7.7)	31
8.	CONTRÔLE DES SOURCES RADIOACTIVES (8.1–8.6)	32
9.	SÛRETÉ DES SOURCES DE RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE ET DES APPAREILS DE TIR	34
	Généralités (9.1–9.3)	34
	Sources de gammagraphie et gammagraphes (9.4–9.36)	35
	Générateurs de rayons X (9.37–9.50)	43
10.	RADIOGRAPHIE EN ENCEINTE BLINDÉE	47
	Généralités (10.1–10.3)	47
	Conception et blindage (10.4–10.12)	48
	Zones contrôlées et zones surveillées (10.13–10.14)	50
	Systèmes de sûreté et d’avertissement en gammagraphie (10.15–10.24)	50
	Systèmes de sûreté et d’avertissement pour les générateurs de rayons X (10.25–10.33)	52
	Procédures applicables en radiographie (10.34–10.44)	54
	Déclassement (10.45)	
11.	RADIOGRAPHIE SUR SITE	57
	Généralités (11.1–11.4)	57
	Préparation d’une radiographie sur site (11.5–11.6)	58
	Coopération avec le client (11.7–11.10)	58

Balisage des limites de la zone contrôlée (11.11–11.15).....	59
Signaux d’avertissement (11.16–11.17).....	60
Notes (11.18)	60
Rondes et contrôle radiologique aux limites de la zone (11.19–11.21).....	61
Contrôle radiologique (11.22–11.26).....	61
Précautions supplémentaires pour la gammagraphie sur site (11.27–11.39)	62
Précautions supplémentaires pour les radiographies X sur site, y compris les radiographies réalisées à l’aide d’accélérateurs (11.40–11.44)	65
12. TRANSPORT DES SOURCES RADIOACTIVES.....	67
Déplacements à l’intérieur d’un site (12.1–12.2).....	67
Transport vers un autre site (12.3–12.9)	67
13. PRÉPARATION ET CONDUITE DES INTERVENTIONS D’URGENCE.....	68
Généralités (13.1–13.6)	68
Élaboration des plans d’urgence (13.7–13.10).....	70
Types de situations d’urgence (13.11–13.13)	71
Contenu d’un plan d’urgence classique (13.14–13.16)	72
Équipements d’urgence (13.17–13.19)	73
Procédures d’urgence spécifiques (13.20–13.21)	74
Formation et exercices (13.22–13.24)	76
Examens périodiques des plans et des équipements (13.25–13.26)...	77
Rédaction de rapports (13.27–13.30).....	77
APPENDICE : CATÉGORISATION DES SOURCES RADIOACTIVES EFFECTUÉE PAR L’AIEA	79
RÉFÉRENCES	83
ANNEXE I : EXEMPLE D’ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ.....	87
ANNEXE II : VUE D’ENSEMBLE DES SOURCES ET DES APPAREILS DE RADIOGRAPHIE	95

ANNEXE III : EXEMPLES D'ACCIDENTS EN RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE.	99
PERSONNES AYANT COLLABORÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN	107
ORGANES D'APPROBATION DES NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA.	109

1. INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

1.1. Les applications des rayonnements ionisants apportent de nombreux bénéfices à l'humanité qu'il s'agisse de la production d'électricité ou d'utilisations en médecine, dans l'industrie et dans l'agriculture. L'une des plus anciennes mises en œuvre des rayonnements dans l'industrie consiste à utiliser la radiographie à des fins de contrôle non destructif de pièces d'équipements. La radiographie industrielle permet de vérifier l'intégrité physique de structures et d'équipements tels que récipients, tuyaux, joints soudés, pièces coulées ou autres pièces. L'intégrité structurelle de ces équipements et structures a une incidence non seulement sur la sécurité et la qualité des produits mais aussi sur la protection des travailleurs, du public et de l'environnement.

1.2. Les travaux de radiographie industrielle présentent un risque négligeable s'ils sont effectués de manière sûre. Toutefois, l'expérience montre que des incidents résultant de l'utilisation de sources de radiographie industrielle ont parfois exposé des travailleurs à des doses élevées, ce qui a eu de graves conséquences sur leur santé, par exemple des brûlures par irradiation et qui, dans quelques cas, a entraîné leur décès. Des personnes du public ont aussi subi des surexpositions lorsque des sources radioactives utilisées en radiographie industrielle n'ont pas été correctement contrôlées ou que la réglementation qui leur est applicable n'a pas été respectée. Il y a également eu contamination de personnes et de l'environnement lors d'incidents liés à des sources corrodées ou endommagées. Par nature, les travaux de radiographie industrielle sont souvent effectués dans des conditions de travail difficiles, par exemple des espaces confinés ou un froid ou une chaleur extrêmes. Travailler dans des conditions si défavorables peut aboutir à des situations opérationnelles dans lesquelles le principe de maintenir les doses aussi bas que raisonnablement possible est difficile à respecter. Tous ces aspects montrent que la direction doit promouvoir une culture de sûreté au sein de son entreprise afin de s'assurer que la sûreté passe en premier.

1.3. Dans le présent guide de sûreté, on suppose que l'État est doté d'une infrastructure gouvernementale, législative et réglementaire efficace en matière

de sûreté radiologique et que cette infrastructure prend en compte la radiographie industrielle¹ [1–4].

1.4. Le présent guide de sûreté remplace la publication n° 13 de la collection Rapports de sûreté sur la protection et la sûreté radiologique en radiographie industrielle².

1.5. Sauf mention contraire, les termes utilisés ont le sens qui leur est attribué dans le Glossaire de sûreté de l’AIEA (Édition 2007) [5].

OBJECTIF

1.6. Les Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements (les NFI) [2] énoncent les prescriptions fondamentales pour la protection des personnes contre une exposition aux rayonnements et pour la sûreté des sources de rayonnements. La mise en œuvre de ces prescriptions permet de s’assurer que le nombre de personnes exposées à des rayonnements et les doses qu’elles reçoivent sont maintenus aussi bas que raisonnablement possible et contribue à prévenir les incidents ou à atténuer leurs conséquences. Le présent guide de sûreté donne des recommandations sur la manière dont les travaux de radiographie industrielle devraient être effectués dans le cadre des NFI et d’autres normes de sûreté de l’AIEA.

1.7. Les orientations qui figurent dans la présente publication s’appuient sur les NFI et sur les autres normes de sûreté de l’AIEA auxquelles il est fait référence dans le texte. Elles sont principalement destinées aux cadres des organismes exploitants qui sont autorisés à effectuer des travaux de radiographie industrielle, aux radiologues, aux responsables de la radioprotection et aux organismes de réglementation. Ces orientations peuvent également intéresser les concepteurs et les constructeurs d’appareils et d’installations de radiographie industrielle.

¹ Dans le présent guide de sûreté, l’expression « radiographie industrielle » désigne la radiographie industrielle effectuée à l’aide de sources de rayonnements. Le terme « rayonnement » désigne ici un rayonnement ionisant. La terminologie utilisée dans la présente publication est définie et expliquée dans le Glossaire de sûreté de l’AIEA, Édition 2007 [5] (voir également <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>).

² INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 13, IAEA, Vienna (1999).

CHAMP D'APPLICATION

1.8. Le présent guide de sûreté contient des recommandations en vue de garantir la sûreté radiologique en radiographie industrielle utilisée à des fins de contrôle non destructif. Il porte sur les travaux de radiographie industrielle qui ont recours à des sources de rayonnement gamma ou de rayons X, que ce soit dans des installations blindées fixes qui sont équipées de dispositifs de contrôle automatique performants ou dans des installations protégées situées à l'extérieur au moyen de sources mobiles (c'est-à-dire en radiographie sur site).

1.9. Les recommandations et les orientations qui concernent les techniques de radiographie industrielle, par exemple les méthodes qui permettent d'obtenir de bonnes images, figurent dans une autre publication de l'AIEA [6].

1.10. Le recours à la gammagraphie sous-marine et à la neutronographie est relativement rare. Ces techniques imposent de concevoir des évaluations spéciales de la sûreté et des procédures spécifiques. Les conseils techniques adaptés à ce type de méthodes ne figurent pas explicitement dans la présente publication même si les principes généraux de la sûreté, comme la mise en place d'un blindage adéquat et le fait de veiller à ce que les doses de rayonnements soient maintenues aussi bas que raisonnablement possible, s'appliquent.

1.11. L'utilisation des rayonnements pour des contrôles de sûreté sur les personnes, les bagages, le courrier, les cargaisons et les véhicules et pour d'autres besoins de détection du même type fera l'objet d'un guide de sûreté de l'AIEA distinct.

STRUCTURE

1.12. Les diverses obligations et responsabilités des organismes et des individus sont décrites dans la section 2. La préparation de l'évaluation de la sûreté et ses relations avec le programme de radioprotection sont traitées respectivement dans les sections 3 et 4. L'obligation pour les organismes exploitants d'employer du personnel formé et qualifié est exposée dans la section 5. Les sections 6 et 7 expliquent respectivement comment devrait être effectué le contrôle radiologique des travailleurs et celui du lieu de travail.

1.13. Les sections suivantes présentent en détail les modalités pratiques qui permettent de maîtriser correctement les sources gamma (section 8), la sûreté physique des sources de rayonnement gamma ou X et de leurs accessoires

(section 9), l'utilisation sûre de ce même type de source dans des installations fixes et dans certaines conditions pour la radiographie sur site (sections 10 et 11, respectivement) et la sûreté du transport des sources radioactives (section 12). La préparation des interventions d'urgence et les interventions elles-mêmes lorsque des sources de radiographie industrielle sont en jeu sont décrites dans la section 13.

1.14. L'appendice présente une synthèse de la catégorisation des sources radioactives effectuée par l'AIEA. L'annexe I propose un exemple d'évaluation de la sûreté en radiographie industrielle. L'annexe II offre une vue d'ensemble des sources et des appareils de radiographie industrielle. Enfin, une rapide présentation d'exemples d'accidents figure dans l'annexe III.

2. OBLIGATIONS ET RESPONSABILITÉS

GÉNÉRALITÉS

2.1. En matière de sûreté radiologique, la responsabilité générale incombe à l'organisme exploitant qui est autorisé à effectuer des travaux de radiographie industrielle. Toutefois, les obligations spécifiques et les responsabilités ordinaires relatives à une utilisation sûre des appareils reposent sur un ensemble de personnes, notamment la direction, le responsable de la radioprotection, les radiologues industriels et leurs assistants, les experts qualifiés et, pour les travaux de radiographie sur site, le client responsable des lieux où ces travaux sont effectués ainsi que les éventuels sous-traitants concernés. Toutes les responsabilités et obligations devraient être acceptées par toutes les parties intéressées et devraient figurer par écrit.

L'ORGANISME EXPLOITANT

Pilotage de la sûreté radiologique et de la culture de sûreté

2.2. L'organisme exploitant, par l'intermédiaire de ses cadres, est responsable de l'élaboration et de la mise en place des mesures techniques et organisationnelles nécessaires pour assurer la protection et la sûreté et pour garantir le respect des prescriptions législatives et réglementaires. Dans certains

cas, il peut être opportun de nommer des personnes qui ne font pas partie de l'organisme pour effectuer des tâches ou des activités en rapport avec ces responsabilités, mais l'organisme exploitant reste le premier responsable de la sûreté radiologique et du respect de la réglementation.

2.3. Il conviendrait de désigner un cadre dirigeant qui aura la responsabilité générale de superviser la sûreté radiologique et de vérifier que les travaux de radiographie industrielle sont effectués dans le respect des prescriptions réglementaires. En matière de sûreté radiologique, les responsabilités doivent être connues et devraient être acceptées de toutes les parties concernées et consignées par écrit. Les cadres devraient veiller à ce que des procédures de protection des travailleurs, du public et de l'environnement soient en vigueur et à ce que les doses soient maintenues à un niveau aussi bas que raisonnablement possible (principe d'optimisation). Toutes les règles et procédures devraient être écrites et remises à l'ensemble du personnel et, s'il y a lieu, à l'organisme de réglementation.

2.4. Les cadres doivent favoriser une culture de sûreté au sein de leur organisme, encourager une attitude de remise en question et un désir d'apprendre en matière de protection et de sûreté ainsi que le refus de se contenter des résultats acquis [2]. Les dispositifs d'encadrement et l'attitude des travailleurs, lesquels interagissent en favorisant la sûreté lors de l'exécution des tâches, entretiennent une culture de la sûreté. Celle-ci ne concerne pas seulement la radioprotection, elle devrait aussi s'appliquer à la sûreté classique.

2.5. Lorsqu'un incident se produit, les organismes exploitants dont la culture de sûreté est bonne ne recherchent pas le coupable, elles tirent des enseignements de leurs erreurs, favorisent une attitude de remise en question et cherchent à améliorer continuellement la sûreté des méthodes de travail. Lorsque l'on étudie un incident, on peut tenir compte de ce qui constitue une attitude acceptable ; toutefois, dans certains cas, des sanctions peuvent être prises.

Programme de radioprotection

2.6. L'organisme exploitant devrait concevoir, rédiger et mettre en place un programme de radioprotection [7]. Celui-ci devrait contenir des informations sur les dispositifs de radioprotection, l'évaluation de la sûreté, les mesures qui permettent de mettre en œuvre ces dispositifs et les mécanismes de contrôle et de mise à jour de ces dispositifs. On trouvera plus de détails sur l'évaluation de la sûreté et sur le programme de radioprotection respectivement dans les sections 3 et 4.

Système de gestion

2.7. L'organisme exploitant devrait concevoir, mettre en place, évaluer et améliorer continuellement un système de gestion qui définit les responsabilités de toutes les personnes concernées et présente en détail les prescriptions qui s'appliquent à l'organisme, au personnel et au matériel. Ce système de gestion devrait s'appuyer sur des normes nationales ou internationales [8–10]. Il devrait intégrer des mécanismes d'inspection et d'audit de routine, ainsi que des audits par des tiers, si nécessaire. Le programme de radioprotection devrait faire partie du système de gestion.

Installations et moyens

2.8. L'organisme exploitant devrait veiller à ce que le personnel dispose des installations et du matériel adéquats afin qu'il puisse effectuer les travaux de radiographie de manière sûre et dans le respect des prescriptions réglementaires. Les appareils de radiographie devraient notamment être munis de tous les dispositifs de sûreté et d'alerte requis. Les radiologues, les assistants et les responsables de la radioprotection devraient être en nombre suffisant pour réaliser toutes les tâches de manière sûre. Ils devraient disposer des appareils nécessaires (des détecteurs de rayonnement, par exemple) afin de pouvoir effectuer leur travail de manière sûre et efficace.

Notification à l'organisme de réglementation

2.9. L'organisme exploitant qui envisage d'effectuer des travaux de radiographie industrielle devrait adresser une notification indiquant son intention d'effectuer des travaux de ce type à l'organisme de réglementation. Cette notification devrait être envoyée avant que l'organisme exploitant ne commence à mettre en œuvre des sources de rayonnements et les détails de la notification devraient être conformes aux prescriptions réglementaires applicables. Certains organismes de réglementation peuvent demander, au cas par cas, à recevoir régulièrement des informations complémentaires (pour des travaux de radiographie sur site, par exemple).

Autorisation délivrée par l'organisme de réglementation

2.10. L'organisme exploitant est tenu de demander une autorisation à l'organisme de réglementation pour acquérir, entreposer, utiliser, distribuer ou transférer des sources de radiographie. Certains États peuvent également exiger une autorisation pour l'importation ou l'exportation de sources de radiographie. Les

travaux de radiographie ne devraient pas commencer avant que l'organisme exploitant n'ait reçu l'autorisation nécessaire, laquelle peut imposer certaines restrictions ou limitations.

2.11. Lorsqu'il demande une autorisation, l'organisme exploitant devrait fournir à l'organisme de réglementation les justificatifs pertinents qui montrent qu'un niveau de sûreté radiologique satisfaisant sera mis en place et maintenu. Lorsqu'il n'accepte pas une raison implicite, un organisme de réglementation devrait demander une justification explicite à l'utilisation de rayonnements ionisants et non d'autres techniques de contrôle non destructif.

2.12. Parmi les justificatifs nécessairement joints à une demande d'autorisation, devraient figurer, au minimum :

- a) Des renseignements sur l'organisme qui demande l'autorisation ;
- b) Les prescriptions appliquées par l'organisme exploitant en matière de formation et de compétence de tout le personnel concerné ;
- c) Des renseignements techniques sur le(s) type(s) de source(s) de rayonnements et d'équipements qui sera (seront) utilisé(s) ;
- d) Une évaluation de la sûreté, y compris sur l'utilisation et l'entreposage des sources ;
- e) Des détails sur le système et les dispositifs de sûreté installés dans les lieux où les sources de rayonnements seront entreposées ou utilisées (par exemple, le blindage et les systèmes de verrouillage ou d'avertissement) ;
- f) Un programme de radioprotection ;
- g) Les plans et procédures d'urgence.

LES RESPONSABLES DE LA RADIOPROTECTION

2.13. L'organisme exploitant devrait nommer en interne au moins un salarié au poste de responsable de la radioprotection pour surveiller l'application quotidienne du programme de radioprotection et effectuer les tâches prescrites par ce programme. Parmi les missions du responsable de la radioprotection, on peut citer, en fonction des prescriptions réglementaires :

- a) Surveiller les opérations de radiographie industrielle et aider l'organisme exploitant à respecter les prescriptions réglementaires, y compris celles qui sont relatives à la sûreté du transport des sources pour les travaux de radiographie sur site ;

- b) Conserver des relevés comptables des sources ;
- c) Inspecter les dispositifs de contrôle, de sûreté et d'avertissement et en assurer l'entretien ;
- d) Surveiller les accès aux zones contrôlées ;
- e) Mettre en place et contrôler périodiquement les systèmes de dosimétrie individuelle, et notamment conserver et vérifier le dossier dosimétrique des travailleurs ;
- f) Veiller à ce que les radiologues soient correctement formés à l'utilisation des équipements et à la radioprotection et à ce qu'ils suivent régulièrement des séances de rafraîchissement des connaissances ;
- g) Veiller à ce que des plans d'urgence soient mis en place et à ce que des exercices d'urgence soient effectués régulièrement ;
- h) Surveiller les dispositifs de contrôle radiologique du lieu de travail ;
- i) Mettre en place, diffuser et revoir périodiquement les règles locales (y compris les autorisations de travail, s'il y a lieu) ;
- j) Étudier les expositions supérieures aux valeurs habituelles et les surexpositions ;
- k) Étudier et déclarer les incidents, y compris les accidents.

2.14. Le nombre de responsables de la radioprotection qui doivent être nommés dépendra de la taille de l'organisme exploitant, du nombre de sources de radiographie ainsi que de la fréquence et de la nature des travaux de radiographie à effectuer. Lorsque plusieurs responsables de la radioprotection ont été nommés, les obligations et les responsabilités de chacun devraient être clairement définies. Même dans les petits organismes qui ne comptent que quelques salariés, il conviendrait de nommer au poste de responsable de la radioprotection une personne qui dispose des connaissances, de la formation et de l'expérience nécessaires.

2.15. Le responsable de la radioprotection devrait être un salarié de l'entreprise suffisamment qualifié, avoir une expérience en radiographie et occuper une fonction qui lui permet de surveiller étroitement les travaux de radiographie. L'organisme exploitant devrait veiller à ce que le responsable de la radioprotection dispose de suffisamment de temps, de pouvoirs et de moyens pour remplir réellement ses obligations. Ce responsable devrait aussi avoir l'autorité nécessaire pour arrêter des travaux qui ne respectent pas les règles de sûreté et pour dialoguer efficacement avec tous les membres de l'entreprise, surtout avec les dirigeants, afin de s'assurer que les décisions qui peuvent avoir une incidence sur la sûreté radiologique bénéficient d'un soutien au plus haut niveau.

LES EXPERTS QUALIFIÉS

2.16. L'organisme exploitant peut consulter un ou plusieurs experts qualifiés sur des questions qui relèvent de la sûreté nucléaire, comme la conception des installations de radiographie, les calculs relatifs au blindage contre les rayonnements, et le contrôle et l'entretien des radiamètres. Le respect des prescriptions réglementaires est une responsabilité qui ne peut être déléguée à un expert qualifié et qui incombe toujours à l'organisme exploitant.

2.17. Les experts qualifiés ne sont pas obligatoirement des salariés de l'organisme exploitant : ils peuvent être employés à temps partiel ou pour des projets spécifiques. Ce qui est indispensable, c'est que l'expert qualifié soit titulaire du diplôme ou du certificat national requis.

2.18. L'expert qualifié devrait travailler en étroite coopération avec le responsable de la radioprotection afin d'assurer que toutes les missions et les tâches nécessaires soient accomplies.

LES TRAVAILLEURS

Les radiologues

2.19. Même si, en matière de sûreté radiologique, la responsabilité incombe en premier lieu à l'organisme exploitant, les radiologues (y compris les assistants et les stagiaires) ont la responsabilité de travailler de manière sûre et de prendre toutes les mesures raisonnables pour limiter leur propre exposition ainsi que celle des autres travailleurs et des personnes du public.

Les radiologues devraient :

- a) se conformer aux règles locales (voir la section 4) et à toutes les procédures applicables ;
- b) porter en permanence leur dosimètre individuel au bon endroit lors des travaux de radiographie et de la manipulation des sources (voir la section 6) ;
- c) utiliser les détecteurs de rayonnement correctement et de manière systématique (voir la section 7) ;
- d) coopérer avec le responsable de la radioprotection et les experts qualifiés sur tous les problèmes de sûreté radiologique ;
- e) participer à toutes les formations qui concernent la sûreté radiologique ;

- f) s'abstenir de tout acte intentionnel qui les conduirait à commettre ou à faire commettre à un tiers une infraction aux prescriptions réglementaires ou aux règles de l'organisme exploitant lui-même.

2.20. Le radiologue devrait informer rapidement le responsable de la radioprotection de tout incident ou circonstance qui pourrait entraîner des doses de rayonnement supérieures aux valeurs habituelles pour lui-même ou d'autres personnes. Il peut s'agir d'une défaillance ou d'un défaut observé sur les systèmes de sûreté et d'alerte, d'erreurs lors de l'application d'une procédure ou d'un comportement inopportun. Après l'incident ou le problème observé, un rapport écrit devrait être adressé au responsable de la radioprotection dès que possible.

2.21. Tout le personnel devrait intégrer la sûreté radiologique aux travaux de radiographie de routine. C'est cet élément qui devrait permettre de juger de la culture de sûreté globale de l'organisme exploitant.

Les radiologues en contrats de courte durée (travailleurs itinérants)

2.22. Les organismes exploitants qui engagent des radiologues indépendants en contrat de courte durée devraient veiller à ce qu'ils bénéficient du même niveau de protection et de sûreté que les radiologues employés à plein temps. Ces radiologues en contrat de courte durée (parfois appelés travailleurs itinérants) ne travaillent pour l'organisme exploitant que pendant une petite période de temps (quelques semaines, par exemple) avant de le quitter et de travailler pour un autre employeur.

2.23. Ces conditions de travail peuvent créer des difficultés particulières en matière de respect de la réglementation. Les responsabilités respectives de l'organisme exploitant et du radiologue itinérant devraient être clairement indiquées dans les dispositions contractuelles. Pour pouvoir respecter les prescriptions réglementaires qui leur incombent, les organismes exploitants devraient connaître la dose efficace cumulée reçue depuis un an par ces travailleurs itinérants avant qu'ils ne commencent leur tâche.

2.24. Les responsabilités de l'organisme exploitant et du radiologue itinérant dépendent de prescriptions réglementaires spécifiques. L'organisme exploitant devrait clarifier avec le radiologue la répartition des responsabilités sur des sujets comme :

- La mise en place d'une dosimétrie individuelle et d'un dossier de suivi dosimétrique (voir la section 6) ;
- Le bilan de santé du travailleur (voir la section 6) ;
- Les modalités de contrôle radiologique du lieu de travail (voir la section 7) ;
- Les règles locales (voir la section 4).

2.25. L'organisme exploitant devrait vérifier que le radiologue est titulaire du diplôme adéquat et a suivi la formation nécessaire en sûreté radiologique et en radiographie industrielle. Il devrait également s'assurer que toutes les procédures et les autres documents utiles lui sont fournis dans une langue qu'il connaît.

LE CLIENT

2.26. Le client est l'organisme ou la personne qui a fait appel à l'organisme exploitant pour réaliser des travaux de radiographie industrielle. Le client devrait toujours avoir recours à un organisme exploitant agréé par l'organisme de réglementation conformément aux prescriptions réglementaires applicables à la radiographie industrielle.

2.27. Le client devrait laisser à l'organisme exploitant un délai suffisant pour planifier les travaux et les réaliser de manière sûre et pour lui permettre d'effectuer les éventuelles notifications préalables requises par l'organisme de réglementation.

2.28. Le client ne devrait pas imposer de conditions ou de limites contractuelles qui empêcheraient l'organisme exploitant de réaliser les travaux de radiographie de manière sûre. Les prescriptions réglementaires et de sûreté priment sur les considérations commerciales. Le client devrait veiller à ce que les travaux de radiographie soient coordonnés avec les autres tâches effectuées sur le site afin de réduire autant que possible les risques propres au site pour les radiologues et les expositions aux rayonnements pour les autres travailleurs. Si plusieurs entreprises de radiographie travaillent sur le site du client en même temps, il conviendrait de mettre en place une coordination particulière. Un système de permis de travaux peut faciliter la communication et la coordination entre les différentes tâches effectuées sur un même site.

2.29. Le client doit s'assurer que l'environnement de travail des radiologues est sûr, notamment en mettant à leur disposition des échafaudages, un éclairage suffisant et des dispositifs de sûreté pour travailler dans des navires, des espaces confinés, des tranchées ou d'autres lieux auxquels ils peuvent avoir besoin

d'accéder. Il doit également donner des informations sur les problèmes de sécurité propres au site aux radiologues extérieurs et/ou leur faire suivre les formations nécessaires sur ces questions.

2.30. Si des sources radioactives doivent être entreposées temporairement sur le site du client, ce dernier et l'organisme exploitant devraient veiller à la sûreté et à la sécurité du local d'entreposage et s'assurent que toutes les autorisations nécessaires ont été obtenues auprès de l'organisme de réglementation. Ils devraient clairement définir les procédures d'accès aux sources entreposées (voir aussi la section 7).

3. ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

GÉNÉRALITÉS

3.1. L'organisme exploitant devrait mener et rédiger une évaluation de la sûreté pour chaque type de source de rayonnement pour laquelle il est titulaire d'une autorisation. Pour les sources et les appareils de même type, il peut être suffisant d'effectuer une seule évaluation générique. L'évaluation de la sûreté initiale, parfois appelée évaluation radiologique préalable est un outil fondamental qui permet de déterminer les mesures de protection à prendre et de confirmer que tous les paramètres qui ont une incidence sur la protection et la sûreté sont pris en compte. L'évaluation de la sûreté devrait être consignée et faire l'objet d'une vérification indépendante dans le cadre du système de gestion de l'organisme exploitant.

3.2. Une évaluation de la sûreté devrait être effectuée avant que la première source n'arrive sur le site ou qu'elle ne soit utilisée pour la première fois. L'organisme exploitant devrait s'organiser à l'avance afin de s'assurer qu'il dispose de suffisamment de temps pour mettre en place les mesures de protection et de sûreté requises. Il n'est pas toujours nécessaire de mener une nouvelle évaluation de la sûreté lorsque l'on remplace une source par une autre source identique.

3.3. Au cas où des travaux ont été effectués sans qu'une évaluation de la sûreté ait été menée, l'organisme exploitant devrait procéder à une évaluation rétrospective de la sûreté. Celle-ci devrait soit confirmer que toutes les mesures

de protection nécessaires sont en place, soit déterminer les mesures supplémentaires à adopter.

MÉTHODOLOGIE ASSOCIÉE À L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

3.4. Les sources de radiographie industrielle entraînent des débits de dose élevés et devraient donc être soumises à une évaluation de sûreté approfondie. Les risques radiologiques résultant d'une utilisation courante d'une (de) source(s) de rayonnements associée à la probabilité et à l'ampleur des expositions potentielles en cas d'incident devraient être pris en compte lors de l'évaluation de la sûreté. L'annexe I propose un exemple d'évaluation de la sûreté en radiographie industrielle. L'évaluation de la sûreté devrait porter sur :

- a) Les débits de dose dus aux sources radioactives protégées et non protégées ainsi qu'aux générateurs de rayons X ;
- b) Les expositions potentielles des radiologues, des autres travailleurs et du public pour un ensemble de scénarios correspondant à une utilisation normale et à des incidents raisonnablement prévisibles ;
- c) Les limites et les conditions techniques d'utilisation des sources ;
- d) La manière dont les structures, systèmes et composants ainsi que les procédures relatives à la protection et à la sûreté pourraient connaître un problème ou entraîner une exposition potentielle autrement et les conséquences de ces défaillances ;
- e) La manière dont des facteurs externes peuvent influencer sur la protection et sur la sûreté ;
- f) La manière dont les fausses manœuvres et les facteurs humains peuvent avoir une incidence sur la protection et la sûreté ;
- g) L'évaluation des conséquences de toutes les modifications proposées pour la protection et la sûreté.

RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

3.5. L'évaluation de la sûreté devrait servir de base à des décisions concernant :

- a) Les mesures de contrôle automatiques prescrites pour la sûreté ;
- b) L'élaboration des procédures que les radiologues doivent appliquer (les règles locales) ;
- c) Les prescriptions et les procédures relatives à l'aménagement des zones contrôlées et des zones surveillées ;

- d) Les prescriptions qui concernent la protection du public ;
- e) Les informations sur les incidents raisonnablement prévisibles, y compris les mesures requises pour réduire au minimum la probabilité que de tels incidents se produisent et les équipements d'urgence ;
- f) Les informations sur les actions à engager pour limiter l'exposition des personnes et protéger l'environnement en cas d'incident (y compris les plans d'urgence).

EXAMENS DE L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

3.6. L'évaluation de la sûreté devrait être examinée à chaque fois que l'une des conditions suivantes s'applique :

- a) La sûreté peut être compromise ou affectée en raison de modifications des installations ou des procédures ou de l'acquisition d'une nouvelle source de rayonnements ou d'une source dont les caractéristiques radiologiques sont différentes.
- b) L'expérience d'exploitation, des investigations concernant des urgences ou des incidents, des défaillances ou des erreurs montrent que les mesures de sûreté en vigueur ne sont plus valables ou ne sont pas pleinement efficaces.
- c) Des modifications notables de la réglementation, des directives ou des normes applicables ont été effectuées ou sont envisagées.

4. PROGRAMME DE RADIOPROTECTION

OBJECTIFS ET CHAMP D'APPLICATION

4.1. Le programme de radioprotection est un facteur essentiel du développement et du maintien de la culture de sûreté au sein d'un organisme [7] et il devrait être conforme aux prescriptions réglementaires. Ce programme devrait porter sur la structure hiérarchique, les règles de conduite, les responsabilités, les procédures et les modalités d'organisation de l'organisme exploitant. Tous ces éléments sont mis en place afin de maîtriser les risques radiologiques, d'optimiser les mesures de radioprotection, d'empêcher ou de limiter les expositions et d'atténuer les conséquences des incidents.

4.2. Le programme de radioprotection devrait être adapté et proportionné aux besoins de l'organisme exploitant. Ce programme devrait refléter la complexité et les risques associés aux activités de radiographie prévues. Il devrait s'appuyer sur l'évaluation de la sûreté menée par l'organisme exploitant et porter à la fois sur les situations d'expositions planifiées et sur les expositions potentielles.

4.3. Les éléments d'un programme de radioprotection présentés ici sont représentatifs des opérations de radiographie de routine réalisées à l'aide de sources de rayons X ou gamma. Les organismes exploitants devraient intégrer toutes les mesures et programmes supplémentaires nécessaires pour prendre en compte les risques uniques ou inhabituels associés au lieu de travail.

STRUCTURE ET CONTENU

4.4. Le programme de radioprotection devrait porter sur les principaux éléments qui contribuent à la protection et à la sûreté. La structure et le contenu de ce programme devraient être exposés par écrit à un niveau de détail suffisant. Il devrait comprendre les points fondamentaux suivants :

- a) Structure hiérarchique et règles de conduite ;
- b) Répartition des responsabilités individuelles en matière de sûreté radiologique ;
- c) Programme de formation théorique et pratique sur la nature des risques radiologiques, la protection et la sûreté ;
- d) Règles et suivi locaux ;
- e) Classement en zone contrôlée ou surveillée ;
- f) Dispositions relatives au contrôle radiologique des travailleurs et du lieu de travail, y compris l'acquisition et la maintenance des instruments de mesure utilisés à des fins de radioprotection ;
- g) Programme de surveillance de la santé ;
- h) Système de consignation et de déclaration de toutes les informations utiles qui concernent la maîtrise des expositions, les décisions relatives aux mesures prises en matière de radioprotection et de sûreté professionnelles et le contrôle radiologique des individus ;
- i) Plans d'urgence ;
- j) Méthodes relatives à l'examen et à l'audit périodiques du fonctionnement du programme de radioprotection ;
- k) Assurance de la qualité et amélioration des processus.

4.5. Ces éléments d'un programme de radioprotection, décrits plus en détail par la suite, peuvent figurer dans un document unique ou dans plusieurs documents en fonction de l'ampleur et de la complexité des activités effectuées.

STRUCTURE HIÉRARCHIQUE ET RÈGLES DE CONDUITE

4.6. Le programme de radioprotection devrait contenir une description de la structure hiérarchique relative à la sûreté radiologique. Dans cette structure, qui peut être présentée sous forme d'organigramme, devraient figurer les noms des dirigeants qui sont responsables de la sûreté radiologique et des différents responsables (par exemple, le responsable de la radioprotection). L'organigramme devrait faire explicitement apparaître la chaîne hiérarchique, depuis le radiologue jusqu'au dirigeant auquel incombe la responsabilité générale. Si l'organisme exploitant exerce ses activités sur plusieurs sites, la structure hiérarchique devrait clairement indiquer quelles sont les personnes responsables pour chaque site.

4.7. Le programme de radioprotection devrait comprendre les règles de conduite de l'entreprise en matière de sûreté radiologique et un engagement de la direction de maintenir les doses de rayonnement aussi bas que raisonnablement possible et de favoriser une culture de sûreté.

Répartition des responsabilités en matière de sûreté radiologique

4.8. S'agissant de la sûreté radiologique, les responsabilités devraient être réparties de telle sorte qu'elles couvrent toute la durée de vie des sources, depuis la commande et la réception, en passant par l'utilisation et l'entreposage jusqu'à l'éventuel renvoi au fournisseur (ou à une autre manière possible de gérer leur fin de vie). Parmi les personnes auxquelles des responsabilités devraient être attribuées, on peut citer les dirigeants de l'organisme exploitant (lequel est le premier responsable de la sûreté), le responsable de la radioprotection, l'expert qualifié, les radiologues et d'autres travailleurs, comme l'expose la section 2.

4.9. Pour les organismes exploitants qui réalisent des travaux de radiographie sur un site client, le respect de certaines prescriptions de sûreté (par exemple, la communication d'informations sur les risques et les prescriptions de sûreté propres au site) devrait, s'il y a lieu, être du ressort de la société cliente plutôt que de l'organisme exploitant. Au moins une personne de l'entreprise de radiographie industrielle devrait être responsable des relations avec le client. Ce canal de

communication devrait permettre de recenser tous les risques associés au site, d'examiner les règles locales et d'échanger des informations relatives à la sûreté.

Programme de formation théorique et pratique

4.10. Le programme de radioprotection devrait décrire l'intégralité du programme de formation en protection et en sûreté destiné à tous les salariés directement concernés par les opérations de radiographie de routine et par les interventions d'urgence (voir la section 5). Ce dernier programme devrait prévoir un module de « sensibilisation » aux rayonnements pour le reste du personnel, s'il y a lieu. Par reste du personnel, on entend les dirigeants, les radiologues, les stagiaires, des travailleurs comme les membres du personnel de nettoyage et d'entretien qui peuvent être exposés par inadvertance et les sous-traitants. Le programme de radioprotection devrait également préciser les qualifications professionnelles et les diplômes exigés de tout le personnel concerné, surtout le responsable de la radioprotection, les radiologues et leurs assistants, conformément aux prescriptions réglementaires.

4.11. Les prescriptions relatives à la consignation des formations réalisées devraient être conformes aux prescriptions et aux recommandations réglementaires et devraient figurer dans le programme de radioprotection.

Règles et suivi locaux

4.12. Les règles locales qui décrivent les procédures relatives à l'exécution de travaux de radiographie devraient être mises au point et rédigées dans une langue connue des personnes qui les appliqueront. Ces règles devraient porter sur toutes les procédures associées aux opérations de radiographie lorsqu'il y a un risque d'exposition aux rayonnements, par exemple les activités de routine et les échanges et le transport de sources (voir les sections 10 et 11). Les règles locales constituent un moyen important pour limiter les doses de rayonnement. Elles devraient contenir suffisamment d'informations et d'indications pour permettre aux radiologues et aux autres travailleurs d'effectuer leurs tâches de manière sûre et dans le respect des prescriptions réglementaires.

4.13. L'encadrement devrait veiller à ce que toutes les personnes concernées aient lu et compris les règles locales. Un exemplaire de ces règles devrait être remis à tous les radiologues et à tous les autres intéressés et d'autres exemplaires devraient être consultables dans la zone de tir. Dans les petites entreprises qui réalisent peu de travaux de radiographie, il peut être suffisant de n'avoir qu'un seul groupe de règles locales comprenant toutes les procédures.

4.14. Pour les gros exploitants, il peut être opportun de concevoir plusieurs groupes de règles locales spécifiques. Ces groupes de règles peuvent contenir des procédures relatives aux travaux de radiographie réalisés dans des enceintes de radiographie blindées³, des procédures relatives à l'exécution d'opérations de radiographie sur site et des procédures d'échanges de sources gamma. Certaines entreprises clientes peuvent également imposer l'élaboration de règles locales spécifiques pour les travaux de radiographie réalisés dans leur établissement.

4.15. L'organisme exploitant devrait nommer au moins un salarié au poste de responsable de la radioprotection afin de surveiller l'application quotidienne du programme de radioprotection et d'effectuer les tâches prescrites par ce programme. Les missions du responsable de la radioprotection sont détaillées dans la section 2.

Classement en zone contrôlée ou surveillée

4.16. Le programme de radioprotection devrait préciser le classement en zone contrôlée⁴ ou surveillée⁵ des zones utilisées pour les travaux de radiographie industrielle. Il faudrait définir des zones contrôlées afin de limiter les expositions lors de ces travaux. Il conviendra parfois de délimiter des zones surveillées, notamment autour des installations de radiographie fixes. Le classement de ces zones devrait reposer sur l'évaluation de la sûreté et les débits de dose mesurés. Des conseils concernant l'aménagement des zones contrôlées devraient être donnés, surtout pour les travaux de radiographie sur site (voir les sections 10 et 11).

³ Les « enceintes de radiographie blindées » sont appelées « enceintes blindées » dans le reste du document.

⁴ Une zone contrôlée est une zone définie dans laquelle des mesures de protection et des dispositions de sûreté sont ou pourraient être prescrites pour : a) maîtriser les expositions normales et empêcher la propagation d'une contamination dans les conditions normales de travail ; b) éviter ou limiter les expositions potentielles.

⁵ Une zone surveillée est une zone définie non désignée comme zone contrôlée mais dans laquelle les conditions d'exposition professionnelles sont surveillées en permanence même si des mesures de protection et des dispositions de sûreté particulières ne sont pas normalement nécessaires.

Programme de contrôle radiologique du lieu de travail

4.17. Le programme de radioprotection devrait décrire le programme de sélection, d'étalonnage, de maintenance et d'essais des appareils utilisés pour mesurer les débits de dose de rayonnement. Un programme consacré à l'utilisation des équipements de contrôle radiologique en routine devrait également être défini. Ce programme devrait donner des informations sur la fréquence nécessaire de mesure des débits de dose autour des installations fixes, sur les procédures de contrôle radiologique à appliquer lors de l'exécution de travaux de radiographie sur site, sur les détails à consigner et sur le laps de temps pendant lequel ceux-ci devraient être conservés.

4.18. Le programme de radioprotection devrait préciser que les radiologues disposeront d'un nombre suffisant de détecteurs de rayonnement. Pour les travaux de radiographie sur site, le nombre minimal de détecteurs de rayonnement est d'un débitmètre de dose opérationnel par source utilisée, même s'il est préférable de disposer d'un débitmètre de dose par radiologue (voir la section 7).

4.19. Des niveaux de référence de débits de dose devraient figurer dans le programme de radioprotection. Ces niveaux représentent les débits de dose maximaux qui sont acceptables durant l'exécution de certaines tâches, par exemple aux barrières de la zone contrôlée pendant des travaux de radiographie ou au poste de l'opérateur. Ces niveaux de référence devraient être conformes aux prescriptions et aux recommandations réglementaires.

Dispositions relatives à la surveillance des doses individuelles

4.20. Le programme de radioprotection devrait préciser les types de dosimètres que les travailleurs doivent utiliser et les périodes où ils doivent être portés et contient des dispositions concernant l'évaluation des dosimètres et les dossiers dosimétriques. Il devrait également indiquer que le prestataire de services de dosimétrie devrait être agréé ou habilité selon les règles en vigueur. Le responsable de la radioprotection devrait examiner périodiquement les dossiers dosimétriques afin de détecter les doses qui peuvent être supérieures aux valeurs habituelles (voir la section 6) et de déterminer si elles sont aussi basses que raisonnablement possible.

Programme de surveillance de la santé

4.21. Le programme de radioprotection devrait contenir les détails d'un programme de surveillance régulière de la santé des radiologues et, s'il y a lieu, d'autres salariés. Cette surveillance devrait notamment permettre de déterminer si les travailleurs sont et demeurent aptes à remplir les tâches auxquelles ils sont affectés. Un expert qualifié et/ou un médecin disposant des compétences nécessaires devrait être consulté pour l'élaboration du programme de surveillance de la santé, lequel devrait être conforme aux prescriptions réglementaires.

Plans d'urgence

4.22. Le programme de radioprotection devrait comprendre des plans d'urgence et d'intervention qui doivent être mis en œuvre en cas d'urgence. Ces plans devraient prévoir toutes les urgences raisonnablement prévisibles. Des précisions sur la préparation des interventions d'urgence figurent dans la section 13.

Examens et audits périodiques du fonctionnement du programme de radioprotection

4.23. Faisant partie intégrante du système de gestion de l'organisme exploitant, le programme de radioprotection et sa mise en œuvre devraient être régulièrement évalués. Cet examen périodique devrait mettre en évidence les problèmes à traiter et toutes les modifications qui permettraient d'améliorer l'efficacité du programme.

4.24. Les audits de routine du lieu de travail, notamment en ce qui concerne la désignation et les compétences des personnes qui les mènent, leur fréquence, les attentes de l'équipe d'audit, la communication des résultats et leur suivi, constituent un élément essentiel de ce processus d'examen périodique.

Assurance de la qualité et amélioration des processus

4.25. Les travaux de radiographie industrielle et les activités associées devraient être réalisés conformément au système de gestion mis en place. Ce dernier devrait être conçu de telle sorte que tous les appareils et tous les systèmes de sûreté soient régulièrement vérifiés et testés et que toute défaillance ou insuffisance soit portée à l'attention de l'encadrement et soit rapidement corrigée.

4.26. L'encadrement devrait également veiller à ce que les procédures opérationnelles prévues soient appliquées et à ce que le programme d'assurance

de la qualité précise les contrôles et les audits qui doivent être effectués ainsi que les résultats à conserver. Les prescriptions réglementaires applicables devraient être prises en compte et appliquées dans le contenu et les détails du programme d'assurance de la qualité.

4.27. Le système de gestion devrait prévoir un mécanisme de recensement des enseignements tirés des urgences et des incidents (qu'ils aient été signalés au sein de l'organisme ou dans des rapports externes) et de diffusion de ces enseignements ainsi qu'un mécanisme permettant de tirer parti de ceux-ci en vue d'améliorer la sûreté.

DOSSIER SUR L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

4.28. Le programme de radioprotection repose principalement sur l'évaluation de la sûreté, laquelle expose la nature et l'ampleur des risques radiologiques que l'on peut rencontrer dans le cadre d'opérations de radiographie industrielle. Le rapport de l'évaluation de la sûreté devrait faire partie intégrante de la documentation du programme de radioprotection.

COMITÉ DE SÛRETÉ RADIOLOGIQUE

4.29. Dans les moyennes et grandes entreprises de radiographie, il conviendrait de créer un comité de sûreté radiologique chargé d'examiner régulièrement le fonctionnement du programme de radioprotection. Ce comité peut être consacré à la sûreté radiologique ou disposer de compétences dans d'autres domaines de sûreté (classique). Le(s) dirigeant(s) responsable(s) de la sûreté radiologique, le(s) responsable(s) de la radioprotection, un (des) radiologues et des représentants du personnel devraient faire partie de ce comité. Celui-ci devrait avoir au moins les responsabilités suivantes :

- a) Examen régulier de tous les aspects du programme de radioprotection ;
- b) Examen des expositions professionnelles et des éventuels rapports d'accident établis par le responsable de la radioprotection ;
- c) Recommandations visant à améliorer le programme de radioprotection ;
- d) Conseils et orientations concernant la manière dont le responsable de la radioprotection s'acquitte de ses missions ;
- e) Établissement de rapports réguliers sur des problèmes de sûreté radiologique d'actualité et diffusion de ces rapports à tout le personnel.

5. FORMATION ET QUALIFICATION

GÉNÉRALITÉS

5.1. Les personnes qui exécutent des travaux de radiographie industrielle ont la responsabilité de veiller à ce que ces travaux soient réalisés de manière sûre et dans le respect de toute la réglementation et de toutes les normes de sûreté applicables. Par conséquent, les organismes exploitants devraient s'assurer que les opérations de radiographie sont effectuées exclusivement par des radiologues et des assistants qui sont qualifiés ou certifiés et qui sont compétents et formés dans le domaine de la protection et de la sûreté.

5.2. Il existe des programmes de formation et de qualification au contrôle non destructif par radiographie qui sont internationalement reconnus. Dans certains de ces programmes, la formation à la sûreté radiologique peut être réduite. Dans ce cas, elle devrait être complétée par une formation supplémentaire consacrée uniquement à la protection et à la sûreté. Cette formation supplémentaire peut être assurée par un organisme de formation spécialisé qui se substitue à l'organisme exploitant.

ÉLABORATION DU PROGRAMME DE FORMATION

5.3. Les formations sur la protection et la sûreté peuvent être assurées par divers dispensateurs de formation, notamment des établissements d'enseignement supérieur, des universités, des instituts de radioprotection et des consultants-formateurs [11, 12]. Certains États ont également accès à un centre de formation, qui peut être un centre national ou régional bénéficiant du soutien de l'AIEA. Ces centres peuvent proposer des formations en sûreté radiologique spécialement conçues pour les radiologues industriels.

5.4. Les membres du personnel de radiographie devraient être classés en différents niveaux de compétence en fonction de leur formation et de leur expérience. Ainsi, dans certains États, ces niveaux sont appelés radiologue assistant (il s'agit de stagiaires) et radiologue (des personnes pleinement qualifiées) ou radiologue de niveau 1 et radiologue de niveau 2. Dans certains pays, il existe aussi des radiologues de niveau 3 qui peuvent assurer des formations, organiser des examens et évaluer d'autres radiologues.

5.5. Des programmes devraient être établis pour les différents niveaux de formation correspondant aux responsabilités du radiologue. Le programme de formation devrait fixer les critères de réussite aux épreuves écrites et orales ainsi que les procédures à suivre si un candidat échoue à une épreuve. Les détails du programme de formation devraient figurer dans le programme de radioprotection. On trouvera ci-après plus de détails sur la formation.

STRUCTURE ET CONTENU DES FORMATIONS

5.6. Chaque formation devrait être structurée autour d'objectifs précis et être adaptée aux besoins du public visé. On trouvera des informations sur la structure et le contenu des formations en radioprotection destinées aux radiologues industriels dans les références [11,12]. Une synthèse des éléments essentiels d'une formation de base en sûreté radiologique destinée aux radiologues industriels est présentée ci-après.

Notions et mesures fondamentales

- Notions de base sur les rayonnements ;
- Grandeurs et unités associées aux rayonnements ;
- Détecteurs de rayonnement ;
- Effets biologiques des rayonnements.

Principes de la radioprotection

- Système de radioprotection (justification, optimisation et limitation des doses) ;
- Prescriptions réglementaires ;
- Classement en zones contrôlées et en zones surveillées ;
- Limites de dose et niveaux d'investigation.

La radioprotection en pratique

- Débits de dose dus aux sources ;
- Effets de la durée, de la distance et du blindage ;
- Contrôle radiologique individuel ;
- Méthodes de travail qui permettent de limiter les doses et de les maintenir aussi bas que raisonnablement possible ;
- Entreposage des sources radioactives ;
- Utilisation et maintenance correctes des appareils de radiographie ;

- Programme de radioprotection ;
- Règles locales ;
- Plans d'urgence ;
- Gestion de la radioprotection ;
- Transport des sources radioactives ;
- Gestion de la fin de vie des sources une fois que leur activité a diminué ;
- Accidents et autres incidents liés à des sources de radiographie, leurs conséquences et les enseignements tirés ;
- Préparation et conduite des interventions d'urgence.

5.7. La formation devrait comporter des exercices pratiques, y compris des exercices d'application des plans d'urgence (voir la section 13), par exemple du plan qui permet de récupérer une source bloquée. Cependant, des sources radioactives ne devraient jamais être mises en œuvre lors de tels exercices. Il existe du matériel d'entraînement qui utilise des radiofréquences (RF) pour simuler des sources radioactives, lesquelles peuvent être repérées par des détecteurs RF spécialement conçus pour ressembler à des débitmètres de dose. Il est également possible de se servir de sources « fictives » qui rappellent les assemblages de sources de radiographie mais ne sont pas radioactives.

RAFRAÎCHISSEMENT DES CONNAISSANCES

5.8. Le personnel de radiographie devrait veiller à maintenir à jour ses connaissances théoriques et pratiques grâce à un programme de rafraîchissement des connaissances. Ce programme devrait comprendre un rappel des principes fondamentaux de la protection et de la sûreté et des informations sur les changements apportés aux appareils, aux pratiques et aux procédures et sur les éventuelles évolutions des prescriptions réglementaires.

5.9. Ce rafraîchissement des connaissances devrait se faire à une périodicité conforme aux prescriptions réglementaires. Sa fréquence est en général inférieure à deux ans et ne peut excéder cinq ans. Ces séances peuvent être associées à d'autres rafraîchissements des connaissances sur les techniques de radiographie et faire l'objet d'une certification. Cela étant, des modifications de la réglementation ou des notifications concernant des problèmes de sûreté devraient être diffusées sous forme d'instructions écrites dès que possible puis être rappelées en les intégrant aux séances de rafraîchissement des connaissances.

6. CONTRÔLE RADIOLOGIQUE INDIVIDUEL DES TRAVAILLEURS

ÉVALUATION DE LA DOSE INDIVIDUELLE

6.1. Les organismes exploitants devraient veiller à ce que les doses de rayonnement reçues par le personnel de radiographie soient évaluées de manière régulière afin de s'assurer que ces doses sont maintenues aussi bas que raisonnablement possible et sont inférieures aux limites de dose. Ces évaluations permettent aussi de mettre en évidence les bonnes et les mauvaises méthodes de travail, les appareils défectueux ou la détérioration du blindage ou des systèmes de sûreté automatisés.

6.2. Les organismes exploitants devraient s'approvisionner en dosimètres adéquats auprès d'un prestataire de services de dosimétrie afin de les remettre aux travailleurs et de consigner par écrit les doses reçues. Ces dosimètres devraient être portés par tous les radiologues et leurs assistants et par tous les autres travailleurs qui ont besoin de pénétrer régulièrement dans les zones contrôlées et aussi dans les zones surveillées lorsque cela est prescrit par la réglementation nationale. Les dosimètres peuvent également fournir des renseignements utiles en cas d'urgence ou d'incident.

6.3. Les dosimètres thermoluminescents et les dosimètres photographiques sont fréquemment utilisés. Ces deux types d'appareils contiennent un élément passif qui enregistre les expositions aux rayonnements et qui est ultérieurement exploité par un laboratoire de dosimétrie spécialisé afin d'évaluer la dose reçue. Autre type de dosimètre, le dosimètre électronique individuel, lequel utilise un détecteur à semi-conducteur pour afficher immédiatement la dose de rayonnement reçue (et parfois aussi le débit de dose). Dans certains États et dans certaines situations, les exploitants sont autorisés à remplacer les dosimètres thermoluminescents ou photographiques par ce type de dosimètre.

6.4. Le choix final du type de dosimètre qu'utiliseront les radiologues industriels devrait être soumis à l'appréciation du responsable de la radioprotection, si possible en liaison avec un expert qualifié en dosimétrie des rayonnements. Outre la nécessité de respecter diverses prescriptions techniques, le choix du dosimètre peut également être influencé par des considérations de disponibilité, de coût et de robustesse ainsi que par les prescriptions réglementaires.

6.5. Afin de s'assurer que le dosimètre fournit une évaluation précise de la dose reçue par le radiologue, il conviendrait d'appliquer les principes suivants :

- a) Les dosimètres devraient être portés par les membres du personnel de radiographie en permanence lorsqu'ils travaillent sous rayonnements. Des dosimètres supplémentaires sont souvent nécessaires lorsqu'une radiographie est réalisée dans une installation où les travailleurs sont exposés à d'autres sources de rayonnements, par exemple dans une centrale nucléaire.
- b) Les dosimètres devraient être portés en suivant les recommandations du prestataire de services de dosimétrie.
- c) Pour les dosimètres thermoluminescents et les dosimètres photographiques, l'organe de mesure devrait être correctement placé dans le porte-dosimètre.
- d) Les dosimètres ne devraient être portés que par les personnes auxquelles ils sont délivrés.
- e) Les dosimètres peuvent être sensibles et devraient être manipulés avec soin afin de ne pas endommager l'organe de mesure qu'ils contiennent (les dosimètres peuvent par exemple être endommagés par l'eau, une température ou une pression élevée ou un choc physique).
- f) Les dosimètres ne devraient pas être exposés aux rayonnements lorsqu'ils ne sont pas portés par les radiologues (ils devraient être conservés dans une zone éloignée des sources de rayonnements).
- g) Les dosimètres thermoluminescents et les dosimètres photographiques devraient être analysés rapidement par le service de dosimétrie à l'issue d'une période où ils ont été portés.
- h) Si l'organisme exploitant soupçonne qu'un dosimètre a été endommagé ou a été exposé à des rayonnements sans être porté, il devrait en avvertir le service de dosimétrie.

DÉTECTEURS D'ALARME INDIVIDUELS

6.6. Les détecteurs d'alarme individuels sont de petits détecteurs électroniques de rayonnement qui émettent un signal d'alerte lorsqu'une dose et/ou un débit de dose préétabli est dépassé. Ces détecteurs peuvent être des appareils distincts mais, dans les dosimètres électroniques individuels, un signal d'alerte est généralement intégré au dosimètre « légal ». Ce signal d'alerte est en principe une alarme sonore mais peut être complété par une vibration ou un signal lumineux (ce qui peut être utile lorsque le bruit ambiant est élevé et/ou lorsque le travailleur porte des protecteurs d'oreilles ou d'autres équipements de sûreté).

6.7. Ces informations supplémentaires peuvent être utiles pour maintenir les doses aussi bas que raisonnablement possible. Elles peuvent également contribuer à alerter les radiologues sur des problèmes et ainsi éviter les urgences et les incidents ou en atténuer les conséquences. Les organismes exploitant devraient donc fournir des détecteurs d'alarme à tous les radiologues et à tous leurs assistants, surtout si des travaux de gammagraphie doivent être effectués.

6.8. Parmi les considérations importantes concernant l'utilisation des détecteurs d'alarme individuels, on peut citer les points suivants :

- a) Les détecteurs d'alarme individuels ne devraient être utilisés que pour compléter, et non pour remplacer, les dosimètres thermoluminescents ou les dosimètres photographiques.
- b) Les détecteurs d'alarme individuels ne devraient pas être utilisés à la place de débitmètres de dose (cf. par. 6.14).
- c) Les détecteurs d'alarme individuels devraient être vérifiés périodiquement conformément aux recommandations nationales et/ou aux conseils du fabricant.

6.9. Certains détecteurs d'alarme individuels affichent la dose et/ou le débit de dose sous forme de valeur numérique en plus de l'alerte sonore ou lumineuse.

DOSIMÈTRES ACTIFS

6.10. Les dosimètres actifs affichent instantanément la valeur de la dose reçue. C'est un outil qui peut être très utile pour limiter les expositions lors des travaux de radiographie industrielle, surtout pour certaines tâches spécifiques. Ces dosimètres devraient être fournis par l'organisme exploitant et vérifiés conformément aux instructions du fabricant.

6.11. Le stylo dosimètre, un appareil qui affiche la dose cumulée grâce au déplacement d'un fil électriquement chargé le long d'une échelle graduée, constitue un type simple de dosimètre actif. Les stylos dosimètres ont été très utilisés pendant de nombreuses années mais ils sont aujourd'hui largement remplacés par des dosimètres électroniques, plus modernes.

6.12. Les dosimètres électroniques peuvent être munis d'une alarme sonore et/ou lumineuse afin d'avertir l'utilisateur si une dose ou un débit de dose préétabli a été dépassé. Cela permet également de les utiliser comme détecteurs d'alarme individuels.

6.13. Certains dosimètres électroniques particuliers (les dosimètres électroniques individuels, par exemple) peuvent remplacer les dosimètres thermoluminescents ou photographiques comme dosimètres principaux « d'enregistrement de données » à des fins juridiques. Cette possibilité dépend toutefois des prescriptions réglementaires.

6.14. À l'instar des détecteurs d'alarme individuels, les dosimètres électroniques individuels sont conçus et étalonnés pour mesurer des doses individuelles plutôt que les débits de dose associés au lieu de travail. Par conséquent, ils ne devraient pas être utilisés à la place des radiamètres qui servent à effectuer des mesures sur le lieu de travail.

CONSERVATION DES DONNÉES ENREGISTRÉES

6.15. L'organisme exploitant devrait conserver des dossiers où figurent les doses reçues par ses radiologues et par toutes les autres personnes qui pénètrent régulièrement dans les zones contrôlées, et également dans les zones surveillées lorsque cela est prescrit par la réglementation nationale. Ces dossiers devraient contenir des détails sur les doses enregistrées par les dosimètres portés par les travailleurs. Ils devraient clairement faire apparaître les doses reçues lors d'incidents ou de l'application de procédures d'urgence en les distinguant des doses reçues pendant les travaux de routine. Ces dossiers dosimétriques contiennent en général les doses enregistrées par le dosimètre individuel principal du travailleur et ne servent normalement pas à conserver les doses mesurées à l'aide d'appareils complémentaires comme les stylos dosimètres ou d'autres dosimètres actifs.

6.16. Les radiologues et les autres travailleurs qui sont soumis à un contrôle radiologique individuel devraient être informés des doses individuelles qu'ils ont reçues. L'organisme exploitant devrait également prendre des dispositions pour que le dossier soit accessible au responsable de la radioprotection et, lorsque cela est prescrit, au médecin responsable du programme de surveillance de la santé et à l'organisme de réglementation.

6.17. Lorsqu'un travailleur change de société ou la quitte, l'organisme exploitant devrait lui fournir, ainsi qu'à son nouvel employeur, un récapitulatif de son dossier dosimétrique. Lorsqu'un travailleur cesse d'effectuer des travaux de radiographie ou quitte l'organisme qui l'emploie et ne commence pas des travaux de radiographie chez un autre employeur, l'organisme exploitant devrait prendre des dispositions pour la conservation du dossier dosimétrique du travailleur soit

en s'en chargeant lui-même, soit en le confiant à un autre organisme en fonction de la réglementation nationale.

6.18. Les prescriptions réglementaires peuvent préciser la durée pendant laquelle le dossier dosimétrique de chaque travailleur doit être conservé (par exemple, jusqu'à la date où le travailleur atteint ou aurait atteint l'âge de 75 ans et pendant 30 ans au moins après qu'il a cessé de travailler sous rayonnements). Lorsqu'il applique les prescriptions relatives à la conservation des données, l'organisme exploitant devrait veiller à ce que leur confidentialité soit correctement préservée.

INVESTIGATIONS RELATIVES AUX DOSES REÇUES

6.19. L'organisme exploitant devrait mener une investigation lorsqu'une dose reçue par un radiologue, un autre travailleur ou une personne du public est supérieure à une limite de dose ou à un niveau d'investigation fixé par l'organisme de réglementation ou par l'organisme exploitant. Cette investigation devrait porter essentiellement sur les causes de l'incident qui a entraîné une surexposition et sur toutes les défaillances dans les procédures ou les systèmes de sûreté qui ont contribué à l'incident. Le rapport d'investigation devrait énumérer toutes les améliorations à apporter aux procédures ou aux installations afin d'assurer une protection optimale et de réduire la probabilité qu'un événement similaire se produise et/ou d'en atténuer les conséquences.

SURVEILLANCE DE LA SANTÉ

6.20. L'organisme exploitant devrait prendre des dispositions afin d'assurer la surveillance de la santé des salariés concernés conformément aux prescriptions réglementaires. Une surveillance de la santé initiale devrait être effectuée afin d'évaluer si un travailleur est apte à accomplir les tâches prévues et d'apprécier son aptitude psychologique à travailler sous rayonnements ionisants. Des évaluations périodiques de la santé devraient également être réalisées afin de s'assurer que l'état de santé du travailleur reste satisfaisant.

7. CONTRÔLE RADIOLOGIQUE DU LIEU DE TRAVAIL

PROGRAMME DE CONTRÔLE RADIOLOGIQUE

7.1. L'organisme exploitant devrait mettre en place un programme de contrôle des rayonnements à l'intérieur et aux alentours du lieu de travail [13]. La pertinence des dispositions en vigueur destinées à protéger les personnes lors des travaux de radiographie devrait être évaluée dans le programme, lequel devrait contenir des mesures des niveaux de rayonnement aux emplacements suivants :

- a) Pour les travaux de radiographie réalisés dans des enceintes blindées :
 - i) Autour des murs et des portes (ainsi que des autres ouvertures) de l'enceinte dans plusieurs conditions de fonctionnement différentes afin de s'assurer que le niveau de protection est satisfaisant ;
 - ii) À l'entrée de l'enceinte à la fin de chaque tir de radiographie, afin de confirmer que la source gamma est revenue correctement dans le projecteur ou que l'émission de rayons X a cessé ;
 - iii) Autour du local d'entreposage des sources gamma, afin de s'assurer que la protection contre les rayonnements est suffisante.
- b) Pour les travaux de radiographie sur site :
 - i) Autour des barrières au cours d'un tir d'essai (ou d'un premier tir, en fonction des circonstances) afin de confirmer que les barrières sont placées au bon endroit ;
 - ii) À l'endroit où se trouve l'opérateur lors de l'éjection d'une source gamma ou lorsqu'un générateur de rayons X est mis sous tension afin de confirmer que les niveaux de rayonnements ne sont pas supérieurs aux valeurs tolérables ;
 - iii) Autour des barrières lors de tirs de routines afin de confirmer que les débits de dose restent inférieurs aux valeurs fixées par la réglementation ou des instructions nationales ou par l'organisme exploitant ;
 - iv) À l'endroit où se trouve l'opérateur lors du retour d'une source gamma ou à la fin d'un tir effectué à l'aide d'un générateur de rayons X ;
 - v) Autour du gammagraphe après chaque tir afin de s'assurer que la source est complètement revenue à sa position de protection ;
 - vi) Autour de tout local d'entreposage de sources utilisé sur site afin de s'assurer que la protection contre les rayonnements est suffisante ;

- vii) Autour du site à la fin des travaux de radiographie afin de confirmer qu'aucune source gamma n'a été laissée sur le site ;
- viii) Autour des véhicules utilisés pour transporter des sources gamma avant leur départ depuis le site ou en direction de celui-ci.

7.2. Le programme de contrôle radiologique devrait exposer les emplacements à surveiller, la fréquence de contrôle et les données à conserver. Ces informations devraient figurer dans les règles locales comme dans le programme de radioprotection. Pour chaque emplacement où sont effectuées des mesures, il faudrait fixer des niveaux de référence et indiquer les actions à engager si les valeurs mesurées sont supérieures à ces niveaux. Les données du programme de contrôle radiologique du lieu de travail devraient être accessibles aux personnes concernées, y compris aux travailleurs et à l'organisme de réglementation.

SÉLECTION, MAINTENANCE ET ÉTALONNAGE DES RADIAMÈTRES

7.3. L'organisme exploitant devrait veiller à ce que les radiologues disposent d'un nombre suffisant de débitmètres de dose adéquats. De nombreux types de détecteurs sont adaptés à la mesure des niveaux de rayonnement gamma mais certains ne conviennent pas pour mesurer les rayons X de faible énergie, ce qui peut entraîner une sous-estimation notable du véritable débit de dose. Il faudrait obtenir des informations et des conseils sur l'adéquation des détecteurs à l'aide de la documentation fournie par les fabricants et en s'appuyant sur des experts qualifiés.

7.4. L'organisme exploitant devrait prendre des dispositions afin que les détecteurs de rayonnement soient formellement testés et étalonnés à intervalles périodiques par un laboratoire d'essais spécialisé. Plusieurs caractéristiques de fonctionnement du détecteur de rayonnement devraient être évaluées au cours de ces essais ou de l'étalonnage. Parmi ces caractéristiques, on peut citer la réponse de l'appareil à des débits de dose connus pour des niveaux d'énergie particuliers et la linéarité et le comportement du détecteur lorsque le débit de dose est très élevé. La fréquence et le type d'essais ou d'étalonnage ainsi que les dossiers correspondants devraient être conformes à toutes les prescriptions qui figurent dans la législation et/ou la réglementation nationales et à celles qui ont été édictées par l'organisme de réglementation. Ils devraient également respecter toutes les recommandations du fabricant.

7.5. Les radiologues et le responsable de la radioprotection devraient effectuer des contrôles de routine sur le fonctionnement des détecteurs de rayonnement.

Ces contrôles peuvent comporter une inspection physique afin de vérifier si le détecteur est endommagé, une vérification des piles et une mise à zéro de l'échelle. Il faudrait également contrôler la réponse du détecteur aux rayonnements avant de l'utiliser, conformément aux prescriptions réglementaires. Ce contrôle peut par exemple être réalisé à l'aide d'une source témoin de faible activité ou en plaçant le détecteur près de la surface d'un gammagraphe lorsque la source est en position de protection. Certains organismes de réglementation peuvent imposer que ces vérifications soient effectuées en appliquant des procédures précises et que leurs résultats soient consignés.

7.6. Il faudrait également tenir compte des conditions environnementales dans lesquelles les détecteurs doivent être utilisés. Certains détecteurs ne sont pas adaptés aux endroits très humides ou très chauds et d'autres ne sont pas assez robustes pour supporter une utilisation intensive sur site. Dans certaines installations industrielles où des travaux de radiographie sur site sont réalisés, il peut être nécessaire d'avoir recours à des types particuliers de détecteurs de rayonnement. Dans certaines usines chimiques, par exemple, les radiologues peuvent être tenus de se servir de détecteurs de rayonnement qui réduisent au minimum le risque d'inflammation accidentelle de fumées ou de vapeurs inflammables à l'intérieur de l'installation (on les appelle souvent des détecteurs à sûreté intrinsèque).

7.7. Les radiofréquences (RF) ont un effet sur certains détecteurs de rayonnement. Si des travaux de radiographie doivent être réalisés à proximité d'un générateur RF, il faudrait envisager d'avoir recours à des détecteurs spécialement conçus pour être protégés contre les radiofréquences. Il conviendrait également de tenir compte du bruit lorsque l'on utilise ce type d'appareil. Les alertes sonores devraient être suffisamment fortes pour être entendues et/ou devraient être complétées par des vibrations ou par des signaux lumineux.

8. CONTRÔLE DES SOURCES RADIOACTIVES

8.1. Les sources radioactives utilisées en radiographie industrielle peuvent provoquer et ont effectivement provoqué de graves accidents [14–18]. Les sources gamma dont se servent les radiologues industriels sont généralement considérées comme des sources de catégorie 2 au sens de la Catégorisation des

sources radioactives effectuée par l'AIEA [19] (voir l'appendice). Les organismes exploitants devraient veiller à ce que les sources de gammagraphie soient correctement contrôlées. Cette règle s'applique depuis le moment de leur acquisition jusqu'à ce qu'elles soient définitivement renvoyées à leur fournisseur d'origine ou gérées de manière sûre à la fin de leur vie. Des recommandations approuvées au niveau international et destinées aux États concernant la sûreté et la sécurité des sources de catégorie 1, 2 ou 3 figurent dans le Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives [20].

8.2. S'agissant de la sécurité des sources radioactives, les NFI (réf. [2], par. 2.34) prescrivent que :

« 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 [fondamentales de sûreté] 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 n'aient été 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 ; et
- 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. »

8.3. Les organismes exploitants devraient s'assurer qu'ils ne se procurent de sources radioactives qu'auprès de fournisseurs agréés et que les sources retirées du service sont renvoyées au fournisseur d'origine ou expédiées à un autre organisme agréé. L'importation et l'exportation de sources radioactives devraient respecter les recommandations qui figurent dans le Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives [20] et dans les orientations complémentaires relatives au contrôle des importations et des exportations [21].

8.4. Les organismes exploitants sont tenus de procéder à un inventaire périodique des sources afin de confirmer qu'elles se trouvent à l'emplacement qui leur a été affecté et qu'elles sont en sûreté [2]. Seuls des radiologues habilités et

formés devraient retirer des sources d'un local d'entreposage ou modifier leur emplacement. Les radiologues devraient inscrire sur un registre leur nom, la date et l'heure ainsi que le nouvel emplacement exact de la (des) source(s). Ce registre devrait être vérifié par le responsable de la radioprotection au moins une fois par mois afin de s'assurer que toutes les sources radioactives se trouvent bien à l'endroit où elles sont censées être. Les gammagraphes qui sont équipés d'un blindage à uranium appauvri devraient être intégrés aux procédures de contrôle comptable des sources.

8.5. Tout soupçon de perte de contrôle d'une source radioactive devrait rapidement faire l'objet d'une enquête menée par l'organisme exploitant et être notifié à l'organisme de réglementation (et à toute autre autorité considérée comme compétente) dans les 24 heures ou dans le délai fixé dans les prescriptions réglementaires.

8.6. L'AIEA a publié des orientations relatives à la sécurité des sources radioactives et à la prévention des actes de malveillance [22].

9. SÛRETÉ DES SOURCES DE RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE ET DES APPAREILS DE TIR

GÉNÉRALITÉS

9.1. Une grande variété de modèles et de types de sources de rayonnement, d'appareils de tir et d'accessoires qui permettent de réaliser des travaux de radiographie industrielle sont disponibles dans le commerce. Les appareils utilisés en radiographie devraient être acquis auprès d'un fabricant agréé doté d'un système de gestion reconnu comme l'ISO 9001 [9] ou une norme nationale équivalente afin de s'assurer que les caractéristiques de la sûreté de conception sont constantes dans le temps. L'organisme exploitant devrait veiller à ce que le fournisseur donne des informations qui permettent de se servir de l'appareil de manière sûre. Il devrait également s'assurer que ces informations sont fournies aux utilisateurs dans une langue qu'ils connaissent.

9.2. Les organismes exploitants devraient veiller à ce que les appareils utilisés en radiographie industrielle ne soient pas modifiés avant que les conséquences de la modification envisagée sur la conception d'origine et sur l'évaluation de la

sûreté n'aient été évaluées. Cette évaluation préalable devrait être examinée par un expert qualifié ou par le fournisseur et devrait faire l'objet d'une discussion avec l'organisme de réglementation afin de déterminer si une autorisation ou une approbation complémentaire est nécessaire.

9.3. Une description des divers types d'appareils de radiographie figure en annexe II. On trouvera ci-après des indications sur les problèmes de sûreté associés à ces équipements.

SOURCES DE GAMMAGRAPHIE ET GAMMAGRAPHES

9.4. Les gammagraphes se servent d'une source scellée de haute activité contenue dans un projecteur blindé. Cette source reste dans le projecteur lorsqu'elle n'est pas utilisée. Elle est exposée en la retirant par télécommande du projecteur (à l'aide d'un câble d'éjection/rétraction, par exemple) et en l'insérant directement dans une gaine d'éjection raccordée à celui-ci. Elle reste dans la gaine d'éjection pendant le temps de pose souhaité, après quoi elle est remise à l'intérieur du projecteur.

9.5. Les appareils utilisés en gammagraphie sont le plus souvent constitués de plusieurs éléments dont un dispositif d'éjection télécommandé (souvent appelé « manivelle ») relié à la source de radiographie (souvent appelée « *pigtail* » en anglais) contenue dans un projecteur qui est raccordé à la gaine d'éjection. L'agencement et le fonctionnement de ces différents éléments sont étroitement liés. Il ne faudrait pas compromettre la sûreté en utilisant des éléments qui ne respectent pas les spécifications de conception d'origine.

Sources radioactives scellées

9.6. Lorsqu'ils réalisent des travaux de gammagraphie, les exploitants ne devraient se servir que de sources scellées conformes aux normes internationales ou à leurs équivalents nationaux, comme indiqué ci-après. Ces normes définissent les conditions de fonctionnement normales qu'une source scellée devrait supporter. Seules des sources scellées qui respectent les critères suivants devraient être utilisées en radiographie industrielle. Ces sources devraient :

- a) être certifiées conformes aux prescriptions édictées dans le Règlement de transport de l'AIEA [23] pour les matières radioactives « sous forme spéciale » ;

- b) être conçues, fabriquées et testées de manière à respecter les prescriptions de la norme ISO applicable [24] ou d'une norme nationale équivalente ;
- c) faire l'objet des essais d'étanchéité prévus par la norme ISO applicable [25] ou par une norme nationale équivalente et être munies d'un certificat d'étanchéité valide et associé de manière unique à une source donnée.

9.7. Les sources scellées utilisées en radiographie industrielle font en général partie d'un assemblage qui est raccordé au câble de télécommande dans les dispositifs à éjection de source. Ces assemblages devraient :

- a) être conçus, fabriqués et testés de manière à respecter les prescriptions de la norme ISO applicable [26] ou d'une norme nationale équivalente ;
- b) être compatibles avec le projecteur, les accessoires (comme les gaines d'éjection) et les dispositifs de remplacement avec lesquels ils sont utilisés ;
- c) porter un marquage conforme à la norme ISO 361 [27] ou à une norme nationale équivalente ou, au minimum, le symbole de la radioactivité (trèfle) et la mention « RADIOACTIF ». Ils devraient aussi porter de manière durable le numéro de série du fabricant.

9.8. L'assemblage contenant la source devrait être compatible avec le projecteur spécifique avec lequel il est prévu qu'il soit utilisé. Il devrait également avoir subi des essais conformément à la norme ISO 3999 [26] ou à une norme nationale équivalente et certifiés.

9.9. Certains fabricants indiquent une durée de vie recommandée pour les sources scellées. Cette durée de vie s'appuie sur plusieurs paramètres, notamment la période radioactive de la source et la manière dont celle-ci est encapsulée. Elle donne une indication du laps de temps pendant lequel la source devrait conserver son intégrité. Les fabricants concernés préconisent de ne plus utiliser une source au-delà de sa durée de vie recommandée.

9.10. Sinon, il est possible de faire réaliser une évaluation physique de l'état de la source par un organisme ou un expert doté de l'expérience nécessaire afin de vérifier qu'elle peut continuer à être utilisée. L'organisme de réglementation peut recommander qu'au-delà de la durée de vie recommandée, certains contrôles soient mis en place, par exemple une fréquence plus élevée des essais d'étanchéité ou une évaluation menée par un expert qualifié qui a accès aux installations adéquates.

Gammagraphes

Gammagraphes avec éjection

9.11. La source scellée est contenue et mise en œuvre à l'intérieur d'un gammagraphe spécialement conçu qui intègre des caractéristiques et des dispositifs de sûreté dont le rôle de réduire le risque d'erreur humaine ou de défaillance d'un élément. On trouvera une description des différents types de gammagraphes en annexe II.

9.12. Le gammagraphe devrait être conforme aux prescriptions de la norme ISO 3999 [26], à celles d'une norme équivalente ou à des prescriptions nationales. Le respect de cette norme garantit qu'un niveau minimal de sûreté est assuré et que le gammagraphe et la source associée peuvent être utilisés pour des travaux de radiographie industrielle.

9.13. La plupart des gammagraphes respectent également les prescriptions relatives aux colis de transport de type B(U) édictées dans le Règlement de transport de l'AIEA [23]. Des indications supplémentaires sur la sûreté du transport des sources figurent dans la section 12.

Autres types de gammagraphes

9.14. Certains types de gammagraphes toujours en usage ne sont pas conformes à la norme ISO 3999 [26] en raison soit de leur conception ancienne, soit d'applications uniques ou inhabituelles. Les organismes exploitants devraient veiller à ce que ces appareils ne soient plus utilisés avant qu'une évaluation de la sûreté ne soit réalisée afin de déterminer si des précautions de sûreté supplémentaires devraient être prises.

9.15. Ces appareils devraient également, si nécessaire, faire l'objet d'une autorisation spéciale délivrée par l'organisme de réglementation avant d'être utilisés. À titre d'exemple, on peut citer les appareils pneumatiques qui mettent la source en position de tir en la projetant dans une gaine d'éjection grâce à de l'air comprimé (sans qu'un câble de télécommande ne soit raccordé à la source). Même si, dans ces conditions, les doses reçues par les opérateurs sont faibles, il est possible de projeter la source à l'extérieur du gammagraphe même si la gaine d'éjection n'est pas installée. Ce type de dispositif peut également poser des problèmes concernant le retour de la source en position de protection.

9.16. Autre type de gammagraphe utilisé dans le passé, la « torche ». Le recours à ce type d'appareil n'est pas justifié car les radiologues qui les utilisaient étaient soumis à des niveaux de rayonnement inacceptables mais on en trouvera ici une brève description afin d'être exhaustifs. Dans ce type d'appareil, la source radioactive était fixée à l'extrémité d'une petite tige contenue dans le gammagraphe. Pour effectuer un tir, on la retirait manuellement de l'appareil (à l'extrémité de la tige ou de la torche) et on l'insérait dans un collimateur fixé à la pièce à contrôler.

Marquage et étiquetage

9.17. Chaque gammagraphe devrait porter en permanence et clairement des étiquettes comprenant les éléments suivants :

- a) Le symbole international des rayonnements ionisants (le trèfle) [27] ;
- b) Le mot « RADIOACTIF » en caractères de 10 mm de hauteur au minimum, accompagné d'un bref avertissement dans une langue adaptée au pays d'utilisation ;
- c) Le(s) symbole(s) chimique(s) et le nombre de masse du (des) radionucléide(s) adapté(s) au gammagraphe (par exemple « ^{192}Ir » ou « ^{60}Co ») ;
- d) L'activité maximale autorisée pour une source placée à l'intérieur du gammagraphe, indiquée pour chaque radionucléide adapté à l'appareil ;
- e) La norme internationale (ISO 3999 [26]) ou la norme nationale équivalente à laquelle le gammagraphe et ses accessoires sont conformes ;
- f) Le nom du fabricant et le numéro de modèle et de série du gammagraphe ;
- g) La masse du blindage en uranium appauvri, s'il y a lieu, ou l'indication « Contient de l'uranium appauvri » ;
- h) Le nom, l'adresse et le numéro de téléphone de l'exploitant.

9.18. De plus, le gammagraphe devrait porter une étiquette ou une marque résistant durablement au feu sur laquelle figure des informations sur la source radioactive qu'il contient actuellement, dont :

- Le symbole chimique et le nombre de masse du radionucléide ;
- L'activité à une date donnée ;
- Le numéro d'identification de la source scellée ;
- L'identité du fabricant de la source.

Matériel d'occasion

9.19. Les organismes exploitants qui acquièrent des appareils de radiographie usagés ou d'occasion devraient s'assurer que l'appareil et ses accessoires sont conformes aux normes internationales actuelles [26] ou à une norme nationale équivalente. À cette fin, ils devraient faire réaliser une évaluation par le fabricant ou un autre organisme compétent.

Blindage à uranium appauvri

9.20. Le blindage de nombreux gammagraphes (et de certains collimateurs) contient de l'uranium appauvri car celui-ci est plus dense que le plomb. Cela permet de fabriquer des appareils plus petits que si le blindage n'était constitué que de plomb. Cela permet également d'avoir un colis conforme aux prescriptions édictées dans le Règlement de transport [23] pour les colis de type B(U), s'il y a lieu. L'uranium appauvri est radioactif, par conséquent, même vides, (c'est-à-dire lorsqu'ils ne contiennent pas de source de radiographie) les gammagraphes de ce type devraient être entreposés de manière sûre et soumis aux procédures de contrôle comptable.

9.21. Les exploitants devraient établir quels éventuels gammagraphes et collimateurs en leur possession contiennent de l'uranium appauvri. Ils devraient également veiller à ce que tout gammagraphe ou collimateur contenant de l'uranium appauvri porte une marque durable qui le précise. Certains organismes de réglementation peuvent également imposer une autorisation distincte pour ce type de gammagraphe ou de collimateur. Leur éventuel stockage définitif devrait être effectué d'une manière autorisée par l'organisme de réglementation.

Accessoires

9.22. Les accessoires utilisés avec un gammagraphe sont notamment constitués des boîtiers de commande, des gaines et des collimateurs. Des critères de performance minimaux pour les accessoires sont fixés par la norme ISO 3999 [26]. Les accessoires devraient être conformes aux prescriptions de cette norme ou d'une norme nationale équivalente.

9.23. Chaque modèle de gammagraphe aura ses propres accessoires spécifiques. Ceux-ci devraient être compatibles avec le gammagraphe et l'assemblage de source avec lesquels il est envisagé de les utiliser afin d'éviter les incidents. En cas d'incertitude concernant la compatibilité, il conviendrait de s'adresser au(x) fabricant(s) concerné(s).

9.24. Parmi les accessoires, il existe des câbles de télécommande et des gaines d'éjection qui permettent de maximiser la distance entre le radiologue et la source. La longueur des câbles de télécommande est en général comprise entre 7 et 15 mètres et celle des gaines d'éjection, entre 2 et 6,5 mètres. Les projecteurs ne devraient pas être utilisés avec des câbles de télécommande et des gaines d'éjection dont la longueur est supérieure aux valeurs recommandées par le fabricant.

Collimateurs

9.25. Les collimateurs permettent de réduire le faisceau de rayonnement dans certaines directions. Ils devraient être utilisés chaque fois que cela est possible afin de diminuer les niveaux de rayonnement et les doses qui en résultent. Les collimateurs sont en général fabriqués en plomb, en tungstène ou en uranium appauvri et peuvent produire des faisceaux panoramiques ou directionnels. L'organisme exploitant devrait veiller à ce qu'ils soient compatibles avec l'assemblage qui contient la source afin que celle-ci ne se bloque pas.

Dispositifs de remplacement et conteneurs d'entreposage

9.26. Il conviendrait d'utiliser des dispositifs de remplacement pour échanger de manière sûre des sources de radiographie industrielle ancienne et nouvelle entre le gammagraphe de l'exploitant et le dispositif de remplacement (en principe le conteneur d'expédition) utilisé par le fournisseur de la source (le conteneur de transfert devrait normalement être renvoyé à ce dernier à l'issue du remplacement d'une source). Les conteneurs d'entreposage devraient permettre d'entreposer de manière sûre des sources scellées lorsqu'elles ne sont pas utilisées et d'empêcher des personnes non autorisées d'y avoir accès.

9.27. Même s'il n'existe pas de normes spécifiques pour les dispositifs de remplacement et les conteneurs d'entreposage, ils devraient, lorsque cela est possible, respecter les dispositions des sections applicables de la norme ISO 3999 [26] ou de normes nationales équivalentes en matière de dose et d'étiquetage. Les dispositifs de remplacement devraient être équipés d'un système qui permet de s'assurer que la source ne peut pas être retirée accidentellement du dispositif lors d'un branchement ou d'un débranchement. Ils devraient comporter un verrou ou être contenus dans un conteneur fermé à clef et conçu pour empêcher que la source scellée ne quitte sa position de protection par l'action d'une personne non autorisée ou par accident. Les dispositifs de remplacement et les conteneurs d'entreposage devraient être fermés à clef (et la clef retirée à chaque fois)

lorsqu'ils contiennent des sources scellées, sauf s'ils sont sous la surveillance directe d'un travailleur habilité.

9.28. Les exploitants devraient veiller à ce que les dispositifs de remplacement qui contiennent de l'uranium appauvri soient considérés comme des sources radioactives même quand ils sont « vides » (c'est-à-dire quand ils ne contiennent pas de source de radiographie) et à ce qu'ils soient évacués d'une manière agréée par l'organisme de réglementation.

Entreposage des sources radioactives

9.29. Une installation d'entreposage des sources et des gammagraphes sur site devrait être une pièce qui ferme à clef ou un local spécialement conçu qui offre un niveau de protection et de sûreté suffisant. La pièce ou le local devrait être classé en zone contrôlée ou surveillée, si nécessaire, et devrait être :

- a) résistant au feu afin de réduire au minimum le risque de perte de protection et de confinement en cas d'incendie à proximité ;
- b) situé dans un endroit éloigné de zones où un risque de corrosion ou d'explosion existe ;
- c) construit dans des matériaux qui offrent une protection suffisante pour limiter les débits de dose à l'extérieur de la pièce ou du local à des valeurs inférieures aux niveaux fixés par l'organisme de réglementation.

La porte d'accès à l'installation d'entreposage devrait être fermée à clef et les clefs ne devraient être détenues que par le personnel autorisé. Une note sur laquelle figure le symbole de la radioactivité (le trèfle) devrait être affichée sur la porte.

Inspection et maintenance

Bonnes pratiques générales

9.30. Afin qu'ils fonctionnent constamment de manière satisfaisante, les appareils de gammagraphie (ainsi que tous leurs accessoires) devraient faire l'objet d'inspections de routine et de maintenances périodiques.

9.31. La maintenance périodique ne devrait être réalisée que par le fabricant ou par du personnel spécifiquement formé en suivant les instructions du fabricant. Les pièces de rechange ne devraient être obtenues qu'auprès du fabricant afin qu'elles soient conformes aux spécifications de sûreté d'origine.

Toute modification devrait être soumise à l'approbation du fabricant ou, si cela est prescrit, de l'organisme de réglementation.

9.32. Le fait de garder les équipements propres afin qu'ils fonctionnent correctement devrait faire partie des bonnes pratiques générales. Il faudrait enlever la boue et la saleté après utilisation de la source car elles peuvent entraver les déplacements de celle-ci.

Inspection de routine

9.33. Les radiologues devraient effectuer une inspection de routine avant de démarrer des travaux de radiographie afin de détecter les situations qui peuvent conduire à un incident si elles ne sont pas corrigées. Parmi les vérifications courantes, on peut citer :

- a) L'inspection du gammagraphe afin de s'assurer que :
 - i) Les attaches et les raccords sont serrés.
 - ii) Le mécanisme de fermeture fonctionne correctement.
 - iii) Les niveaux de rayonnement sont normaux.
 - iv) Les branchements à la gaine d'éjection et au mécanisme de commande sont solides.
 - v) Le raccordement de l'assemblage de la source au câble de télécommande est vérifié à l'aide d'une jauge d'usure, par exemple une jauge de type « tout ou rien » fournie par le fabricant afin de détecter les usures excessives.
- b) L'inspection de la télécommande afin de s'assurer que :
 - i) Les raccords sont serrés.
 - ii) Il n'y a aucun signe d'écrasements, de nœuds ou d'entailles.
 - iii) Le câble de télécommande peut se déplacer librement.
- c) L'inspection de la gaine d'éjection afin de s'assurer que :
 - i) Les raccords sont serrés.
 - ii) Il n'y a aucun signe d'écrasements, de nœuds ou d'entailles.
 - iii) L'extrémité de la source n'est pas percée.

9.34. Les radiologues devraient inspecter tous les autres accessoires utilisés (comme les supports magnétiques, les pinces et les collimateurs) afin de vérifier :

- La liberté de mouvement ;
- Les bonnes conditions de fonctionnement ;
- L'adéquation aux utilisations prévues.

Lorsqu'ils effectuent un remplacement de source, les radiologues devraient réaliser les contrôles préalables suivants :

- Les dispositifs de verrouillage fonctionnent correctement.
- Les branchements de la gaine d'éjection et de la gaine de transfert sont solides.
- Il n'y a aucun obstacle ni dans la gaine d'éjection, ni dans la gaine de transfert.

Programme de maintenance

9.35. L'organisme exploitant devrait mettre en place un programme de maintenance de tous les équipements utilisés en gammagraphie. Ce programme devrait indiquer que seul le fournisseur ou bien des opérateurs spécialement formés devraient effectuer cette maintenance. Celle-ci devrait être réalisée à la fréquence prescrite, en tenant compte de l'utilisation des équipements dans des conditions difficiles, par exemple en présence de sable, de boue ou d'eau.

9.36. La maintenance consiste à démonter complètement un équipement et à effectuer une inspection détaillée de tous ses éléments. Lorsque cela est nécessaire, les pièces usées ou endommagées devraient être remplacées et un lubrifiant adapté devrait être appliqué. Toutes les opérations de maintenance, y compris les changements de pièces, devraient être consignées.

GÉNÉRATEURS DE RAYONS X

9.37. Le type le plus courant de générateur de rayons X utilisé en radiographie industrielle est le tube à rayons X classique même si, dans quelques applications particulières, les accélérateurs linéaires et les cyclotrons sont également utilisés. Les recommandations suivantes concernent les tubes à rayons X, même si des règles de sûreté similaires devraient être appliquées aux accélérateurs linéaires et aux cyclotrons.

9.38. Les générateurs de rayons X sont utilisés pour effectuer des irradiations panoramiques (faisceau radial) et des tirs directionnels. Le tube à rayons X est relié par un câble à un pupitre de commande qui permet de préréglage et de connaître les paramètres de fonctionnement. La longueur du câble, les paramètres de fonctionnement (haute tension et courant) et le blindage qui entoure l'appareil peuvent avoir une incidence sur la dose reçue par le radiologue. Les organismes

exploitants ne devraient utiliser que des générateurs de rayons X conformes aux règles minimales décrites ci-après.

Sécurité électrique

9.39. La sécurité électrique contribue indirectement à la sûreté radiologique étant donné qu'un défaut électrique sur un générateur de rayons X peut entraîner de graves accidents, dont certains ont des conséquences radiologiques. Les générateurs de rayons X devraient être conformes aux prescriptions de sécurité électrique nationales et internationales [28]. En particulier, les pièces métalliques comme le blindage, les câbles d'interconnexion, les blocs d'alimentation (transformateurs et générateurs), les équipements de contrôle, l'ensemble radiogène, les dispositifs d'alarme et les autres dispositifs de sûreté devraient être reliés entre eux électriquement (mise à la masse) et mis à la terre. Un technicien en électricité qualifié ou un agent de maintenance spécialisé devrait donner des conseils en matière d'électricité et effectuer une inspection et des essais.

Longueur du câble

9.40. Lorsque les travaux de radiographie ne peuvent pas être réalisés dans une enceinte blindée, la longueur des câbles ne devrait généralement pas être inférieure à 20 m pour les générateurs de rayons X dont la tension maximale est de 300 kV et devrait être plus grande pour les appareils dont l'énergie est plus élevée.

Collimateurs et filtres

9.41. Les générateurs de rayons X utilisés en radiographie directionnelle devraient, chaque fois que cela est possible, être équipés de collimateurs afin de limiter les faisceaux à la taille minimale compatible avec la technique de radiographie utilisée. L'appareil devrait être muni de filtres afin d'effectuer une filtration adaptée aux travaux à réaliser.

Pupitre de commande

9.42. Le pupitre de commande devrait comprendre les éléments suivants :

- a) Une étiquette sur laquelle figure le symbole de la radioactivité (le trèfle), une légende qui indique que des rayons X sont émis lorsque l'appareil est

en fonctionnement et une étiquette de mise en garde (dans une langue connue localement) interdisant toute utilisation non autorisée.

- b) Un interrupteur à clef afin d'empêcher toute utilisation non autorisée. La clef ne devrait pouvoir être retirée que lorsque l'interrupteur est en position « arrêt » ou « veille » (c'est-à-dire qu'il ne devrait pas être possible de verrouiller le système en position « marche »). Les positions de la clef devraient apparaître clairement.
- c) Un témoin lumineux d'avertissement étiqueté (« sûr en cas de défaillance ») qui indique à quel moment l'appareil est actif (c'est-à-dire prêt à émettre des rayons X).
- d) Un autre témoin lumineux d'avertissement étiqueté (« sûr en cas de défaillance ») qui indique à quel moment l'appareil émet effectivement des rayons X.
- e) Une minuterie qui contrôle le temps de pose ou un interrupteur « marche » qui requiert une pression continue du radiologue pour maintenir l'émission des rayons X.
- f) Des indicateurs qui affichent les kilovolts (kV) et le courant en milliampères (mA) lorsque le faisceau de rayons X est émis.
- g) Un dispositif comportant une étiquette explicite et permettant de mettre fin sur-le-champ à l'émission du rayonnement.

Ensemble radiogène

9.43. L'ensemble radiogène devrait, lorsque cela est possible, être fixé sur un support adapté ou bloqué dans une position afin d'éviter les mouvements accidentels. Une conception et une fabrication de qualité devraient permettre de limiter le rayonnement de fuite (c'est-à-dire le rayonnement qui passe par les côtés de l'équipement et non par la fenêtre de sortie du faisceau). La valeur de celui-ci devrait être indiquée par le fabricant de l'appareil.

9.44. Le pouvoir de pénétration du rayonnement de fuite dépend des kilovolts et est particulièrement sensible au-delà de 500 kV. Le fabricant devrait fournir les chiffres des débits de dose maximaux dus au rayonnement de fuite à la surface de l'appareil et à 1 m de la cible interne à l'appareil. En général, les débits de dose maximaux dus au rayonnement de fuite pour les tubes à rayons X vendus dans le commerce peuvent atteindre $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 1 m de la cible.

Générateurs pulsés de rayons X

9.45. Certains générateurs de rayons X émettent de très courtes impulsions de rayons X et le temps de pose est défini par le nombre d'impulsions nécessaires à

un tir. Ce sont souvent de petits appareils portatifs équipés de piles et utilisés pour radiographier des pièces de faible densité ou des murs très peu épais. De grands générateurs pulsés de rayons X sont parfois utilisés en enceinte blindée lorsqu'une puissance élevée et un temps de pose très court sont requis. Les mêmes précautions que pour les générateurs de rayons X classiques ainsi que les éventuelles précautions de sûreté complémentaires qui auront pu être décidées lors de l'évaluation de la sûreté devraient être prises.

9.46. Il conviendrait de souligner que la plupart des débitmètres de dose ne sont pas adaptés à la mesure des débits de dose à proximité des générateurs pulsés de rayons X en raison de la durée extrêmement courte des impulsions émises par ces appareils et du temps de réponse relativement lent des débitmètres. À la place, il conviendrait d'utiliser des dosimètres intégrateurs appropriés.

Inspection et maintenance des générateurs de rayons X

Bonnes pratiques générales

9.47. Afin qu'ils fonctionnent constamment de manière satisfaisante, les appareils à rayons X (ainsi que tous leurs accessoires) devraient faire l'objet de contrôles de routine par l'organisme exploitant et d'inspections et de maintenances formelles par le fabricant ou un expert qualifié. Les pièces de rechange ne devraient être obtenues qu'auprès du fabricant afin qu'elles soient conformes aux spécifications de sûreté d'origine.

9.48. Parmi les tâches périodiques que l'organisme exploitant peut réaliser, on peut citer :

- a) Des contrôles de la sécurité électrique, y compris la mise à la terre et des essais concernant l'isolation électrique des câbles ;
- b) Le nettoyage ou le remplacement des filtres des systèmes de refroidissement ;
- c) Des contrôles sur les fuites de rayonnement X depuis le tube ;
- d) Des contrôles pour vérifier que tous les câbles sont en bon état et qu'aucun fil n'est usé ou à nu ;
- e) Les autres contrôles et entretiens de routine recommandés par le fabricant ;
- f) Des tests sur tous les systèmes de verrouillage et sur tous les interrupteurs d'arrêt d'urgence ;
- g) Des tests sur tous les détecteurs de rayonnement installés en permanence à l'intérieur des enceintes blindées en s'assurant qu'ils sont effectués à un moment où personne ne se trouve dans l'enceinte.

Inspection de routine

9.49. L'inspection de routine devrait être effectuée avant de démarrer des travaux de radiographie. Elle permet de détecter les situations qui peuvent conduire à un incident si elles ne sont pas corrigées. L'inspection devrait normalement comprendre les vérifications suivantes :

- L'appareil ne présente pas de dommage apparent.
- Les câbles ne comportent aucune entaille, cassure ou nœud et aucun de leurs raccords n'est coupé.
- Les éventuels systèmes de refroidissement liquide ne comportent aucune fuite.
- Tous les dispositifs de verrouillage sont opérationnels.
- Tous les signaux et témoins lumineux d'avertissement fonctionnent correctement.
- Les attaches et les vis sont serrées.

Maintenance

9.50. L'organisme exploitant devrait mettre en place un programme de maintenance des générateurs de rayons X. Ce programme devrait indiquer que seul le fournisseur ou des opérateurs spécialement formés devraient effectuer cette maintenance. Celle-ci devrait avoir lieu au moins une fois par an et plus souvent si l'appareil est utilisé dans des conditions difficiles, par exemple, en cas de saleté ou d'humidité excessive, ou s'il est fréquemment déplacé. La maintenance consiste à inspecter et à tester complètement l'équipement ainsi qu'à effectuer une inspection détaillée de tous ses éléments. Les pièces qui ne fonctionnent pas ou sont endommagées devraient être remplacées en tant que de besoin et, si nécessaire, testées. Toutes les opérations de maintenance, y compris les changements de pièces, devraient être consignées.

10. RADIOGRAPHIE EN ENCEINTE BLINDÉE

GÉNÉRALITÉS

10.1. Une enceinte blindée est un espace clos conçu et aménagé pour assurer une protection suffisante contre les rayonnements ionisants aux personnes situées à

proximité. Elle intègre des dispositifs de contrôle automatique qui permettent de prévenir ou de réduire au minimum les expositions potentielles des personnes qui pourraient entrer dans l'enceinte lorsque les sources sont exposées ou sous tension.

10.2. À chaque fois que cela est raisonnablement possible, les travaux de radiographie industrielle devraient être réalisés à l'intérieur d'une enceinte blindée. Le recours à ce type d'enceinte présente l'avantage de permettre à d'autres travaux effectués à proximité (mais à l'extérieur de l'enceinte) de se poursuivre sans interruption pendant que des opérations de radiographie sont menées comme prévu. Il conviendrait de réaliser ce type de travaux dans une enceinte conçue et fabriquée avec soin et munie des systèmes de sûreté et d'alerte adéquats et qui font l'objet de tests et d'une maintenance réguliers. Ce type d'enceinte peut être très efficace pour prévenir les accidents et maintenir les doses de rayonnement aussi bas que raisonnablement possible.

10.3. Avant d'utiliser une enceinte, l'organisme exploitant devrait effectuer des essais de mise en service, si nécessaire avec l'aide du fabricant, afin de confirmer que l'enceinte telle qu'elle est construite est conforme aux critères de conception.

CONCEPTION ET BLINDAGE

10.4. La conception d'une enceinte blindée devrait tenir compte des sources de rayonnement qui seront utilisées et des travaux spécifiques qui y seront réalisés. L'enceinte devrait être conçue de telle sorte que les dispositifs de contrôle des expositions associés à la source gamma ou au générateur radiologique soient situés à l'extérieur de l'enceinte blindée. La conception devrait prendre en compte les besoins immédiats et prévisibles avant le début de la construction.

10.5. Lors de la conception d'une enceinte blindée, il faudrait dessiner un plan de l'installation et de ses environs, y compris les éventuels bureaux ou bâtiments adjacents. Devraient figurer sur ce plan les dimensions, l'épaisseur, la densité et les types des matériaux de protection utilisés sur les côtés, au-dessus et en dessous de la zone de tir. Il conviendrait également de faire apparaître les entrées et les distances entre l'enceinte et les zones potentiellement occupées adjacentes à la zone de tir ou situées au-dessus ou en dessous ainsi que des informations sur le facteur d'occupation (c'est-à-dire la fréquence d'occupation et la durée moyenne pendant laquelle une personne reste dans la zone). L'enceinte devrait être conçue avec soin afin de réduire au minimum le coût de l'installation et

d'éviter de coûteux travaux de mise à niveau, lesquels peuvent être requis si le degré de protection nécessaire n'est pas atteint.

10.6. L'exposition directe aux rayonnements et le rayonnement diffusé résultant de l'utilisation des enceintes blindées devraient être limités au moyen d'une protection adéquate. Des calculs approfondis de l'épaisseur de blindage requise nécessitent l'utilisation de données de transmission pour le matériau de protection concerné. Pour effectuer ces calculs, l'aide d'un expert qualifié est nécessaire. Des orientations concernant l'utilisation des données de transmission et les calculs nécessaires ne rentrent pas dans le cadre de la présente publication.

10.7. Il est préférable que les enceintes soient munies d'un toit blindé. Lorsque la conception ne prévoit pas de toit ou seulement un toit très simple, il conviendrait de prêter une attention particulière à la diffusion du rayonnement par l'air (ou « effet de ciel ») et à la diffusion par des objets qui se trouvent à l'extérieur de l'enceinte, comme des hauts plafonds ou des murs situés à proximité de l'enceinte si celle-ci doit être construite à l'intérieur d'un autre bâtiment.

10.8. L'organisme de réglementation peut définir les critères à appliquer à la conception d'une enceinte, y compris les niveaux de référence de dose ou de débit de dose.

10.9. Il y aura des ouvertures ou des points de pénétration dans le blindage pour les entrées et sorties du personnel, pour les grues qui mettront en place et enlèveront les objets lourds à radiographier, pour la tuyauterie, pour les câbles de télécommande, pour la ventilation et pour d'autres canalisations. Ces points de pénétration devraient être conçus avec grand soin afin d'éviter, ou du moins de réduire au minimum, la pénétration ou la diffusion des rayonnements.

10.10. Des faiblesses dans le blindage peuvent apparaître après une période d'usure, des dommages subis par le blindage, un déplacement du blindage ou le tassement du bâtiment. Diverses techniques de conception, comme les chicanes d'accès, devraient être utilisées afin de prévenir ou de limiter au maximum les conséquences de ces faiblesses.

10.11. Les résultats de l'évaluation de la sûreté⁶ devraient être pris en compte lors de la conception. Une fois la conception d'une enceinte blindée achevée,

⁶ Pour les installations où des générateurs de rayons de haute énergie comme des accélérateurs ou des cyclotrons doivent être utilisés, il convient également de tenir compte des risques non radiologiques dus à des gaz nocifs comme l'ozone.

aucune modification ne devrait y être apportée si elle ne maintient ou n'améliore le niveau de sûreté. Des modifications de la conception d'origine peuvent également nécessiter des essais de mise en service et une autorisation ou une approbation par l'organisme de réglementation ou un expert qualifié.

10.12. Tous les documents relatifs à la conception de l'enceinte devraient être conservés à des fins de consultation ultérieure. L'organisme de réglementation peut également demander des copies des plans et de la documentation avant d'autoriser l'exploitant à utiliser l'installation.

ZONES CONTRÔLÉES ET ZONES SURVEILLÉES

10.13. Lorsque des travaux de radiographie sont en cours, les débits de dose sont très élevés à l'intérieur d'une enceinte, par conséquent celle-ci devrait être classée en zone contrôlée. Cela étant, lorsqu'elle n'est pas utilisée, une enceinte ne rentre pas obligatoirement dans cette catégorie. L'approche retenue dépendra de la réglementation et des prescriptions nationales ou locales.

10.14. L'enceinte blindée devrait être conçue de telle sorte qu'il n'est pas nécessaire de créer une zone contrôlée autour de celle-ci. En fonction de la situation, la zone qui entoure l'enceinte blindée pourra être classée en zone surveillée.

SYSTÈMES DE SÛRETÉ ET D'AVERTISSEMENT EN GAMMAGRAPHIE

Verrouillage des portes

10.15. Les enceintes blindées devraient être équipées de systèmes de sûreté adéquats sur les portes d'accès afin de s'assurer que personne ne peut entrer lorsqu'un tir est en cours. Il convient d'installer un dispositif de verrouillage mécanique ou électrique afin de s'assurer que le tir ne peut pas commencer tant que la porte n'est pas fermée.

10.16. De même, ce dispositif devrait soit empêcher l'ouverture de la porte lorsqu'un tir est en cours, soit faire revenir ou protéger automatiquement la source si la porte s'ouvre. Avec certains gammagraphes à commande manuelle, il n'est pas toujours possible d'installer des dispositifs de verrouillage de ce type. Dans ce cas, la porte devrait être fermée à clef par le radiologue juste avant le début du tir.

10.17. Il convient d'installer un dispositif de mesure des rayonnements sûr en cas de défaillance. Dans l'idéal, ce détecteur de rayonnement devrait être intégré au dispositif de verrouillage des portes afin d'empêcher l'accès à l'enceinte blindée lorsqu'il détecte un niveau de rayonnement supérieur à une valeur préétablie. Cependant, cette solution n'est pas toujours possible pour certains gammagraphes à commande manuelle munis d'une manivelle.

10.18. Ce même dispositif devrait déclencher des signaux lumineux et sonores lorsqu'un tir est en cours. Même lorsque ce type de dispositif automatique est utilisé, les personnes qui pénètrent dans l'enceinte blindée devraient toujours se servir d'un radiamètre portatif en état de marche afin de confirmer que la source est complètement protégée.

Signaux d'avertissement et notes affichées

10.19. Un signal d'avertissement préalable, qui peut être lumineux ou sonore, devrait être émis juste avant de commencer un tir. Ce signal devrait être clairement perceptible à toute personne située à l'intérieur ou à l'entrée de l'enceinte blindée. Il devrait durer suffisamment longtemps pour permettre à ces personnes de quitter l'enceinte.

10.20. Un second signal d'avertissement lumineux ou sonore devrait être émis pendant que le tir est en cours. Le signal d'avertissement préalable et le signal d'avertissement « tir en cours » devraient pouvoir être clairement distingués l'un de l'autre et tous deux devraient pouvoir être vus et/ou entendus de l'intérieur de l'enceinte blindée.

10.21. Ces deux signaux devraient de préférence être montés de telle sorte qu'ils se mettent automatiquement en marche lorsqu'un tir est effectué. Toutefois, en fonction des prescriptions réglementaires, il peut être suffisant que le signal d'avertissement préalable soit déclenché manuellement par le radiologue juste avant le début d'un tir. Lorsque l'on utilise plusieurs sources de rayonnement, les contrôles et les avertissements indiquant qu'un tir est en cours devraient être distincts et sans ambiguïté.

10.22. Des notes visibles qui expliquent clairement le sens des signaux d'avertissement préalable et « tir en cours » devraient être affichées à des emplacements adéquats dans l'installation et aux alentours. Sur ces notes devraient figurer le trèfle radioactif et les autres informations prescrites par l'organisme de réglementation. La note devrait être rédigée dans une langue

connue des personnes susceptibles de se trouver dans les zones situées autour de l'enceinte blindée.

10.23. Le support des notes devrait être fait en matériaux durables dans les conditions environnementales existantes. Les notes abîmées ou illisibles devraient être remplacées en tant que de besoin.

Boutons ou cordons d'arrêt d'urgence

10.24. Il conviendrait d'installer des boutons ou des cordons d'arrêt d'urgence à réarmement manuel afin de permettre à toute personne située à l'intérieur de l'enceinte blindée de déclencher immédiatement une alarme et de mettre fin à une exposition aux rayonnements ou de l'empêcher, soit automatiquement, soit en attirant l'attention du radiologue. Ces boutons et ces cordons devraient être placés de telle sorte qu'ils peuvent être atteints sans traverser le faisceau de rayonnement principal. Ils devraient comporter une étiquette sur laquelle figurent des instructions claires sur leur utilisation. Les personnes situées à l'intérieur de l'enceinte devraient pouvoir soit la quitter rapidement soit s'abriter derrière une protection convenable. Le radiologue devrait pouvoir mettre fin à un tir immédiatement en cas d'urgence.

SYSTEMES DE SÛRETÉ ET D'AVERTISSEMENT POUR LES GÉNÉRATEURS DE RAYONS X

10.25. Des générateurs de rayons X peuvent être utilisés pour réaliser des travaux de radiographie dans des enceintes blindées. Le rayonnement émis par ce type de générateur est en général considérablement plus élevé que celui qui est émis par les sources gamma. Les systèmes de sûreté devraient être installés avec soin et attention afin d'empêcher les expositions accidentelles des radiologues et d'autres travailleurs. Un générateur de rayons X devrait en principe être intégré aux systèmes de sûreté et d'avertissement d'une enceinte afin qu'il ne soit pas possible d'utiliser le générateur si ces systèmes de sûreté ne sont pas actifs.

Verrouillage des portes

10.26. Les enceintes blindées devraient être équipées de dispositifs de verrouillage adéquats sur les portes d'accès afin de s'assurer que personne ne peut pénétrer dans une enceinte lorsqu'un générateur de rayons X émet des rayonnements. Il conviendrait d'installer un dispositif de verrouillage afin d'établir une liaison mécanique ou électrique entre le système de contrôle des

expositions et la porte ou les autres points d'accès à l'enceinte blindée. Ce dispositif devrait empêcher l'émission de rayons X tant que la porte est ouverte et devrait immédiatement mettre fin à la génération de rayons X si la porte s'ouvre. La fermeture ultérieure de la porte ne devrait pas automatiquement remettre le générateur de rayons X sous tension.

10.27. Les dispositifs de verrouillage des portes ne devraient pas empêcher les personnes qui peuvent se trouver à l'intérieur de l'enceinte de la quitter en cas d'urgence. Les dispositifs de verrouillage courants comprennent des interrupteurs électriques ou des systèmes de clé prisonnière. Ces dispositifs devraient être sûrs en cas de défaillance de sorte que des rayons X ne peuvent pas être émis si l'un des éléments du dispositif est en panne ou est cassé. La redondance, la diversité et l'indépendance des dispositifs de verrouillage devraient être utilisées en tant que de besoin afin d'améliorer la sûreté.

Signaux d'avertissement et notes affichées

10.28. Un signal d'avertissement préalable, qui peut être lumineux ou sonore, devrait être émis juste avant la production de rayons X. Ce signal devrait être clairement perceptible à toute personne située à l'intérieur ou à l'entrée de l'enceinte blindée. Il devrait durer suffisamment longtemps pour permettre à ces personnes de quitter l'enceinte⁷.

10.29. Un second signal d'avertissement lumineux ou sonore devrait être émis pendant que des rayons X sont produits. Le signal d'avertissement préalable et le signal d'avertissement « émission de rayons X » devraient pouvoir être clairement distingués l'un de l'autre et tous deux devraient pouvoir être vus et/ou entendus de l'intérieur de l'enceinte blindée. Ils devraient également avoir été choisis de telle sorte que l'on ne peut les confondre avec d'autres signaux d'avertissement utilisés dans le périmètre.

10.30. Ces signaux devraient être montés de manière à se déclencher automatiquement lorsqu'un tir de rayons X débute. Le dispositif de signaux d'avertissement devrait être conçu et/ou installé de telle sorte que des rayons X ne peuvent pas être émis en cas de défaillance de l'un des éléments du système (par exemple, si une ampoule est en panne). Lorsque l'on utilise plusieurs sources de

⁷ Dans les installations équipées de générateurs de rayonnement de haute énergie comme les accélérateurs linéaires, des mesures de sûreté complémentaires, par exemple des dispositifs de « recherche et de verrouillage », peuvent être installées pour « forcer » l'opérateur à vérifier par lui-même que la pièce est vide avant de commencer un tir.

rayonnement, les contrôles et les avertissements indiquant qu'un tir est en cours devraient être distincts et sans ambiguïté.

10.31. Des notes visibles qui expliquent clairement le sens des signaux d'avertissement préalable et « tir en cours » devraient être affichées à des emplacements adéquats dans l'installation et aux alentours. Sur ces notes devraient figurer le trèfle radioactif et les autres informations prescrites par l'organisme de réglementation. La note devrait être rédigée dans une langue connue des personnes susceptibles de se trouver dans les zones situées autour de l'enceinte blindée.

10.32. Le support des notes devrait être fait en matériaux durables dans les conditions environnementales existantes. Les notes abîmées ou illisibles devraient être remplacées en tant que de besoin.

Boutons ou cordons d'arrêt d'urgence

10.33. Des boutons ou des cordons d'arrêt d'urgence à réarmement manuel devraient être intégrés au dispositif de verrouillage pour permettre à toute personne située à l'intérieur de l'enceinte blindée de déclencher immédiatement une alarme et d'empêcher automatiquement un tir ou d'y mettre fin. Ces boutons et ces cordons devraient être placés de telle sorte qu'ils peuvent être atteints sans traverser le faisceau de rayonnement principal. Ils devraient comporter une étiquette sur laquelle figurent des instructions claires sur leur utilisation. Les personnes situées à l'intérieur de l'enceinte devraient pouvoir soit la quitter rapidement, soit s'abriter derrière une protection convenable. Le radiologue devrait pouvoir mettre fin à un tir immédiatement en cas d'urgence.

PROCÉDURES APPLICABLES EN RADIOGRAPHIE

10.34. À l'intérieur d'une enceinte blindée, les travaux de radiographie ne devraient être réalisés que par des radiologues compétents qui ont suivi la formation pratique nécessaire. Au cours de cette formation, ils devraient recevoir la consigne de s'assurer que l'enceinte blindée est utilisée en respectant ses contraintes de conception et que tous les systèmes et composants de l'installation restent conformes à leurs spécifications d'origine. Les radiologues devraient également connaître les dispositifs de sûreté et d'avertissement installés et la manière dont ils devraient être utilisés.

10.35. Les organismes exploitants devraient veiller à ce que des procédures opérationnelles et d'urgence écrites applicables aux travaux de radiographie réalisés à l'intérieur de l'enceinte soient facilement accessibles dans une langue connue des radiologues.

10.36. Aucun travail de radiographie autre que ceux pour lesquels une enceinte blindée a été conçue et l'évaluation de la sûreté a été menée ne devrait être effectué dans cette enceinte. Des travaux de radiographie qui n'étaient pas prévus lors de la conception initiale et une évaluation de la sûreté ne devraient être réalisés qu'une fois qu'une nouvelle évaluation de la sûreté a été menée et que toutes les modifications nécessaires ont été approuvées et effectuées.

10.37. Les radiologues devraient toujours porter des dosimètres individuels conformément aux prescriptions de l'organisme de réglementation. Ces dosimètres comprennent notamment les dosimètres thermoluminescents, les dosimètres individuels actifs et les dosimètres individuels à alarme.

10.38. Les radiologues ne devraient pas s'en remettre aux dispositifs de sûreté installés pour limiter leur exposition aux rayonnements. Ils devraient porter un radiamètre adéquat à chaque fois qu'ils pénètrent dans l'enceinte blindée. En cas de débit de dose supérieur à une valeur préétablie, le radiologue devrait immédiatement quitter l'enceinte, empêcher que d'autres personnes puissent y pénétrer et demander conseil au responsable de la radioprotection.

10.39. Un débitmètre portatif adéquat devrait être accessible pour mesurer les débits de dose à l'extérieur de l'enceinte blindée (voir également la section 7). Ces mesures devraient être effectuées à plusieurs endroits autour de l'enceinte, notamment au poste de l'opérateur et dans des zones adjacentes occupées. Les débits de dose mesurés devraient être comparés aux niveaux de référence. S'ils sont plus élevés que les niveaux de référence, il conviendrait de mettre fin aux travaux et de demander conseil au responsable de la radioprotection.

10.40. Le fonctionnement du débitmètre devrait être vérifié à chaque prise de poste et devrait, de préférence, être contrôlé au cours de chaque poste. Cette vérification devrait être effectuée conformément aux recommandations du manuel d'utilisation de l'appareil. Elle devrait comporter une mesure de la tension des piles et de la réponse du débitmètre à une source témoin. Si un test échoue, les travaux de radiographie ne devraient pas commencer ou se poursuivre avant que l'opérateur ne dispose d'un débitmètre en bon état de marche.

10.41. Des collimateurs et d'autres pièces blindées devraient être utilisés en tant que de besoin pour réduire au minimum les expositions potentielles.

10.42. Avant chaque tir, le radiologue devrait vérifier que personne ne se trouve à l'intérieur de l'enceinte blindée et fermer la porte. Il ne devrait commencer un tir que lorsque la porte est fermée, que toutes les protections sont en place et que les systèmes de sûreté et d'alerte sont opérationnels.

10.43. S'il est nécessaire d'utiliser l'enceinte blindée pour des tâches qui n'étaient pas prévues à l'origine dans les spécifications de conception, par exemple la radiographie d'un récipient d'une longueur inhabituelle en laissant la porte ouverte ou l'utilisation d'un gammagraphe dans une enceinte blindée conçue pour effectuer des radiographies X, il faudrait suivre les procédures applicables aux travaux de radiographie sur site. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'obtenir une autorisation de l'organisme de réglementation.

10.44. Des barrières et des notes devraient être utilisées pour délimiter la zone contrôlée, les débits de dose devraient être vérifiés autour des barrières et une surveillance continue devrait être assurée afin que personne ne pénètre dans la zone contrôlée. Si des verrouillages ont été temporairement désactivés, cela devrait être clairement mentionné et pris en compte dans une évaluation de la sûreté particulière. Il faudrait vérifier que la situation est redevenue normale avant d'utiliser à nouveau l'enceinte.

DÉCLASSEMENT

10.45. Lorsqu'une installation de radiographie industrielle n'est plus utilisée et qu'il n'existe aucun projet de s'en servir à nouveau dans un avenir prévisible, cette installation devrait être officiellement déclassée [29, 30]. Toutes les sources de rayonnement devraient être gérées d'une manière conforme au cadre réglementaire national et, si cela est prescrit, autorisée par l'organisme de réglementation. À ce titre, il conviendrait de prendre les mesures suivantes :

- a) Les sources gamma devraient, après autorisation de l'organisme de réglementation, être transférées à un autre organisme agréé. Sinon, l'organisme exploitant devrait renvoyer la source à son fournisseur d'origine ou prendre une autre décision autorisée par l'organisme de réglementation. Il devrait également conserver des traces écrites détaillées de toutes les autorisations d'entreposage, de transfert ou d'évacuation des sources radioactives (y compris les éventuelles attestations remises par des

destinataires ou par des installations de stockage définitif des déchets radioactifs).

- b) Les gammagraphes contenant de l'uranium appauvri devraient être traités de la même manière que les sources gamma.
- c) Les générateurs de rayons X devraient être rendus inutilisables ou, sous réserve d'une autorisation de l'organisme de réglementation, être transférés à un autre organisme agréé.
- d) Les dispositifs d'inspection interne des canalisations par rayons X (« *crawlers* ») peuvent contenir des sources gamma de faible activité dont il faudrait également tenir compte.
- e) Les organismes exploitants devraient avertir les autorités compétentes lorsque toutes les sources de rayonnement ont été retirées du site.
- f) Toutes les notes et tous les trèfles radioactifs devraient être retirés.
- g) Une étude radiologique détaillée devrait être menée afin de confirmer qu'aucune source radioactive n'a été laissée sur le site et qu'il n'y a pas de contamination.
- h) Un rapport final de déclassement contenant l'étude radiologique finale et des détails sur l'entreposage, le transfert ou l'évacuation des sources de rayonnement devrait être établi. Ce rapport devrait être adressé à l'organisme de réglementation [29,30].

11. RADIOGRAPHIE SUR SITE

GÉNÉRALITÉS

11.1. Lorsque les objets à radiographier ne peuvent pas être déplacés jusqu'à une enceinte blindée, il conviendrait d'effectuer les travaux dans des conditions de « radiographie sur site ». Cette méthode de radiographie est très courante mais présente des risques du fait de l'absence de dispositifs de sûreté automatique.

11.2. Des travaux de radiographie sur site peuvent entre autres être réalisés dans les locaux du client (par exemple, une raffinerie, un site offshore ou un atelier de construction), en zone urbaine (notamment sur une conduite de gaz ou un chantier de construction) ou en plein champ (par exemple sur une canalisation qui traverse une zone rurale ou inhabitée).

11.3. Des travaux de radiographie sur site ne devraient être effectués que lorsqu'il n'est pas possible de réaliser une radiographie à l'intérieur d'une enceinte blindée. La raison de cette impossibilité peut être que les objets à radiographier sont définitivement fixés à un endroit ou sont trop grands ou trop lourds pour être déplacés. Lorsqu'il est possible de déplacer les pièces, il conviendra de les radiographier en enceinte blindée en appliquant toutes les dispositions de sûreté décrites dans la section 10.

11.4. Les travaux de radiographie sur site peuvent être réalisés avec des gammagraphes, des appareils à rayons X ou des accélérateurs mobiles.

PRÉPARATION D'UNE RADIOGRAPHIE SUR SITE

11.5. Plusieurs conditions propres au site où seront réalisés les travaux influent sur ce type de radiographie. Pour préparer une intervention dans de bonnes conditions de sûreté, il convient de tenir compte de l'emplacement, de la proximité des travailleurs et des personnes du public, des conditions météorologiques, de l'heure du jour et du fait de savoir si des travaux doivent être réalisés en hauteur, dans des espaces confinés ou dans d'autres conditions difficiles. Avant d'effectuer des travaux de radiographie, l'organisme exploitant devrait analyser en détail l'environnement de travail afin de détecter les éventuels problèmes propres au site qu'il faudrait résoudre.

11.6. Les organismes exploitants qui réalisent des travaux de radiographie sur site devraient veiller à ce qu'au moins deux radiologues, dont l'un devrait être un responsable de la radioprotection (sauf mention contraire dans les prescriptions réglementaires), soient mis à disposition pour chaque source de rayonnement.

COOPÉRATION AVEC LE CLIENT

11.7. Lorsque des travaux de radiographie sont effectués dans les locaux d'un client et non dans les locaux de l'organisme exploitant, le client devrait être consulté au sujet de leur préparation et de leur planification et notamment sur le choix de l'heure et du lieu adéquat pour réaliser ces travaux. Les notes, signaux d'avertissements et alarmes à utiliser pour les travaux de radiographie devraient faire l'objet d'une discussion entre les parties afin d'éviter une confusion possible sur site, tout en restant conformes aux prescriptions réglementaires.

11.8. Le client devrait donner des informations sur tous les dispositifs de détection des rayonnements (comme certains types de détecteurs de fumée) présents dans les locaux car les travaux de radiographie peuvent affecter ces appareils. Les radiologues devraient être avertis des éventuels risques propres au site. Si le client dispose d'un système de permis de travaux, celui-ci devrait être respecté. L'organisme exploitant devrait remettre au client une copie de ses règles locales et de ses plans d'urgence.

11.9. L'organisme exploitant et le client devraient convenir de la période prévisionnelle de travaux et de la durée pendant laquelle des travaux de radiographie seront effectués. Le client devrait laisser aux radiologues suffisamment de temps pour que les travaux de radiographie soient réalisés dans des conditions sûres et que toutes les mesures de sûreté prescrites soient prises.

11.10. L'organisme exploitant devrait indiquer au client quel type de source de rayonnement il prévoit d'utiliser sur le site. Il devrait veiller à ce qu'un local d'entreposage adéquat soit disponible pour les sources radioactives qu'il envisage d'entreposer sur le site la nuit (il peut être nécessaire de demander une autorisation distincte à l'organisme de réglementation).

BALISAGE DES LIMITES DE LA ZONE CONTRÔLÉE

11.11. Les travaux de radiographie sur site devraient être effectués dans un espace classé en zone contrôlée. Aucun autre travail ne devrait être autorisé dans cette zone tant que les travaux de radiographie ne sont pas terminés et qu'elle reste une zone contrôlée. Les limites de la zone devraient être fixées de telle sorte que les doses éventuelles reçues par des personnes situées à l'extérieur de celle-ci sont inférieures aux niveaux de dose de référence applicables.

11.12. L'organisme exploitant peut fixer des débits de dose maximaux autorisés aux barrières durant des travaux de radiographie sur site, ces valeurs étant en général comprises entre 2,5 et 20 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Afin de limiter la taille de la zone contrôlée, il conviendra, lorsque cela est possible, d'utiliser des collimateurs sur les générateurs de rayons X comme sur les sources de gammagraphie. Il faudrait également mettre en œuvre des protections locales supplémentaires (par exemple des feuilles de plomb) en tant que de besoin.

11.13. Les limites de la zone contrôlée devraient être balisées. Lorsque cela est raisonnablement possible, ce balisage devrait être réalisé par des moyens physiques. Il faudrait se servir des structures existantes, comme les murs, ou de

barrières temporaires ou ceinturer la zone avec de l'adhésif. Il faudrait veiller à empêcher tout accès non autorisé à la zone contrôlée.

11.14. Un soin tout particulier devrait être apporté à cette question lorsque les travaux de radiographie sont réalisés dans une installation industrielle ou sur un chantier de construction à plusieurs étages qui peuvent être occupés par des personnes et qui comportent des échelles, des escaliers, etc. Les radiologues devraient s'assurer que personne ne peut accéder aux parties des étages situées au-dessus ou en dessous de l'espace de travail et qui sont en zone contrôlée.

11.15. Les radiologues devraient placer le pupitre de commande du générateur de rayons X ou la télécommande du gammagraphe à un endroit qui permet de réduire au minimum les doses qu'ils reçoivent lorsqu'ils commencent ou arrêtent un tir.

SIGNAUX D'AVERTISSEMENT

11.16. Des signaux d'avertissement adéquats devraient être déclenchés pour indiquer qu'un tir est sur le point de débiter et que des rayonnements X ou gamma sont émis. Ces signaux devraient pouvoir être distingués les uns des autres. Ils devraient être soit sonores, soit lumineux. En général, les signaux d'avertissement préalable sont sonores (sirène, coup de sifflet ou cloche) tandis que les signaux « tir en cours » sont des indicateurs lumineux (par exemple des balises clignotantes). Lorsque ce sont des sources radioactives qui sont mises en œuvre, ces signaux peuvent être actionnés manuellement. Ils devraient en revanche se déclencher automatiquement pour les appareils à rayons X.

11.17. Les signaux devraient être clairement audibles et/ou visibles de tous les points situés autour de la barrière de la zone contrôlée. Il peut être nécessaire d'intégrer des signaux secondaires au système d'avertissement.

NOTES

11.18. Des notes devraient être affichées aux endroits adéquats à la limite de la zone contrôlée. Sur ces notes devraient figurer le symbole de la radioactivité (le trèfle), des avertissements et des instructions pertinentes dans une langue connue localement. Elles devraient également expliquer le sens des signaux « avertissement préalable » et « tir en cours ». Dans certains cas, il peut être utile d'afficher des notes supplémentaires à l'entrée des locaux afin d'informer les

personnes qui pénètrent sur le site que des travaux de radiographie doivent avoir lieu.

RONDES ET CONTRÔLE RADIOLOGIQUE AUX LIMITES DE LA ZONE

11.19. Avant le début de travaux de radiographie, toutes les personnes devraient évacuer la zone, sauf les radiologues qui vont effectuer les travaux de radiographie. Avant de commencer un tir, ceux-ci devraient vérifier qu'il n'y a personne dans la zone contrôlée et que l'on ne peut y accéder.

11.20. Les limites de la zone contrôlée devraient être clairement visibles et bien éclairées et faire l'objet de rondes permanentes pendant les travaux de radiographie afin de s'assurer qu'aucune personne non autorisée ne pénètre dans la zone. Ces rondes devraient être effectuées par plusieurs personnes si la zone est grande ou si, depuis certains endroits, on ne peut la voir entièrement.

11.21. Les débits de dose devraient être mesurés autour des barrières lors d'un tir d'essai (ou d'un premier tir, en fonction des circonstances) afin de confirmer que les barrières sont placées au bon endroit. Les limites et le balisage de la zone contrôlée devraient être adaptés si nécessaire.

CONTRÔLE RADIOLOGIQUE

Radiamètres portables

11.22. Pour les opérations de radiographie sur site, il devrait y avoir au moins un radiamètre portable par source de radiographie. Avant de commencer des travaux de radiographie, le radiamètre devrait être testé soit avec une source témoin, soit avec un appareil de tir afin d'obtenir une mesure de référence. Un essai avec un gammagraphe contenant une source radioactive devrait montrer que le radiamètre fonctionne correctement et devrait également confirmer que la source gamma est en position de protection.

11.23. Durant les travaux de radiographie, l'objectif principal du contrôle radiologique est de déterminer si une source gamma est en position de protection ou si l'émission de rayons X a cessé après chaque tir. On devrait toujours s'approcher d'un appareil de radiographie avec un radiamètre portable allumé étant donné qu'il existe une possibilité que la source gamma soit restée bloquée en position de travail ou que l'émission de rayons X n'ait pas pris fin.

Dosimètres individuels et détecteurs d'alarme

11.24. Les radiologues devraient porter en permanence un dosimètre individuel, par exemple un dosimètre thermoluminescent ou un dosimètre actif, lorsqu'ils effectuent des opérations de radiographie sur site. Ils devraient régulièrement consulter leur dosimètre actif (voir la section 6) afin de contrôler les doses reçues pendant leur travail.

11.25. Les détecteurs d'alarme individuels (voir la section 6) sont particulièrement utiles pour les travaux de radiographie sur site. Ils devraient être considérés comme une aide précieuse pour détecter un éventuel incident. L'alarme peut être programmée pour se déclencher si le débit dose excède une valeur préétablie. Ces détecteurs peuvent donc émettre un signal sonore ou lumineux ou vibrer lorsqu'un radiologue pénètre dans une zone où le débit de dose est élevé.

11.26. Les radiologues devraient porter un détecteur d'alarme individuel pendant toute la durée où ils peuvent être exposés à des rayonnements ionisants. Ces détecteurs ne devraient cependant pas être considérés comme des substituts des radiamètres portables, lesquels devraient également être utilisés.

PRÉCAUTIONS SUPPLÉMENTAIRES POUR LA GAMMAGRAPHIE SUR SITE

Appareillage

11.27. Pour les travaux de gammagraphie sur site, seuls des appareils spécifiquement conçus pour la radiographie gamma devraient être utilisés. Le radiologue devrait bien connaître l'appareil, son mode de fonctionnement et les problèmes qu'il peut rencontrer. Il devrait également connaître la source, son aspect et la manière dont le tir est effectué, ce dernier point étant particulièrement important.

11.28. En gammagraphie, le type et la taille de l'objet à radiographier déterminent le choix du radionucléide à utiliser. Lorsque l'organisme exploitant dispose de plusieurs sources gamma, il devrait se servir de la source qui permet d'obtenir la radiographie souhaitée et dont l'activité est la plus faible. Ainsi, si l'on a le choix entre deux sources d'¹⁹²Ir d'activités respectives 370 gigabecquerels et 3 700 gigabecquerels et si toutes deux permettent de

réaliser la radiographie recherchée, c'est la source de 370 gigabecquerels qu'il conviendra d'utiliser.

11.29. La mise en œuvre de sources dont l'activité est plus faible peut avoir plusieurs avantages, notamment :

- Des zones contrôlées plus petites et plus faciles à gérer ;
- Des débits de dose plus faibles aux barrières et au poste de l'opérateur ;
- Moins de difficultés si la source se bloque.

Il conviendrait de réfléchir à l'utilisation de techniques modernes comme l'intensification d'image ou des couples écran-film rapides. Lorsque cela est possible, il est recommandé de les utiliser afin de réduire les doses reçues par les opérateurs.

11.30. Des travaux de radiographie ne devraient être réalisés que lorsque le projecteur et tout le matériel nécessaires sont disponibles et en bon état de marche. Parmi ce matériel, on peut citer :

- a) Les radiamètres portables (avec piles de rechange) et les dosimètres individuels ;
- b) Les gaines d'éjection, les câbles de télécommande et les télécommandes ;
- c) Les collimateurs et les protections locales ;
- d) Les barrières ou les adhésifs temporaires ;
- e) Les notes et les signaux d'avertissement ;
- f) Les moyens d'urgence, notamment les outils qui permettent de manipuler des sources à distance et un conteneur blindé de secours pour les situations d'urgence ;
- g) Les autres accessoires, par exemple les pinces utilisées pour s'assurer que la gaine d'éjection ou le projecteur est solidement fixé et les outils d'aide au positionnement.

11.31. Avant de se servir d'un gammagraphe, il conviendrait d'effectuer les vérifications suivantes, lesquelles devraient figurer dans les procédures opérationnelles :

- a) Vérifier que l'appareil de tir et les extrémités des câbles ne sont ni endommagés, ni usés, ni sales. À cette fin, il conviendrait d'utiliser une jauge d'usure, par exemple une jauge de type « tout ou rien » fournie par le fabricant.

- b) Vérifier que les vis et les écrous sont serrés et que les filets de vis et les ressorts ne sont pas abîmés.
- c) Confirmer que le mécanisme de verrouillage de la source fonctionne correctement.
- d) Examiner l'extrémité du porte-source afin de vérifier qu'il n'est ni usé ni endommagé et qu'il est correctement raccordé au câble de télécommande. À cette fin, il conviendrait d'utiliser une jauge d'usure fournie par le fabricant.
- e) Vérifier la solidité des branchements des câbles sur le projecteur.
- f) Inspecter toutes les gaines et tous les câbles afin de vérifier qu'ils ne comportent ni entaille, ni cassure, ni nœud et qu'aucun de leurs raccords n'est coupé.
- g) Vérifier la lisibilité de l'étiquette de mise en garde et de l'étiquette sur laquelle figurent des précisions sur la source.
- h) Mesurer le niveau de rayonnement à proximité de la surface du projecteur et confirmer que la source est protégée.
- i) Vérifier le fonctionnement du radiamètre à l'aide du manuel d'utilisation de l'appareil.

11.32. Si des défauts sont découverts, il ne faudrait pas utiliser l'appareil avant que du matériel de remplacement ne soit fourni ou qu'une réparation ne soit effectuée.

Débits de dose transitoires

11.33. Durant les opérations d'éjection et de retour de la source de radiographie, les débits de dose transitoires à l'extérieur de la zone contrôlée sont beaucoup plus élevés que les débits pendant le tir, lorsque la source est dans son collimateur. Ces manœuvres devraient être réalisées avec un soin particulier : il faudrait notamment vérifier que personne ne se trouve à la limite de la zone contrôlée et effectuer rapidement les opérations d'éjection et de retour de la source.

Entreposage des sources radioactives sur site

11.34. Si nécessaire, les gammagraphes contenant des sources radioactives devraient être entreposés sur site la nuit ou entre deux séances de radiographie. La nécessité d'un entreposage devrait être mise en évidence durant la phase de préparation et une solution devrait être trouvée avec l'exploitant du site afin de disposer d'installations d'entreposage adéquates et conformes aux prescriptions réglementaires.

11.35. Une installation d'entreposage sur site devrait être une pièce qui ferme à clef, un local d'entreposage spécialement conçu ou un puits d'entreposage. Elle devrait offrir le même niveau de protection que les installations d'entreposage qui se trouvent au siège de l'organisme exploitant. Une installation d'entreposage adéquate devrait protéger les gammagraphes contre les conditions environnementales existantes et devrait également être d'un niveau de sûreté suffisant. Elle devrait être résistante au feu afin de réduire au minimum le risque de perte de protection et de confinement en cas d'incendie à proximité. Elle devrait également être située dans un endroit éloigné de zones où un risque de corrosion ou d'explosion existe.

11.36. L'installation d'entreposage devrait être construite dans des matériaux qui offrent une protection suffisante de sorte que les débits de dose à l'extérieur sont inférieurs aux valeurs applicables fixées par l'organisme de réglementation. Elle devrait être classée en zone contrôlée ou en zone surveillée selon le cas.

11.37. La porte de l'installation d'entreposage devrait être fermée à clef et les clefs ne devraient être détenues que par le personnel autorisé. Une note d'avertissement sur laquelle figure le symbole de la radioactivité (le trèfle) devrait être affichée sur cette porte.

Achèvement des travaux et retrait des sources du site

11.38. À la fin des travaux de radiographie, les radiologues devraient utiliser un détecteur de rayonnement afin de s'assurer que toutes les sources gamma sont complètement revenues dans le gammagraphe et qu'aucune source n'est restée en position de travail ou ne s'est détachée.

11.39. Avant de quitter le site, les radiologues devraient procéder à un examen visuel afin de s'assurer que l'appareil n'a pas été endommagé. Il faudrait préparer les gammagraphes pour le transport en les fermant à clef et en leur mettant une housse de protection. Les gammagraphes et leurs accessoires devraient être arrimés dans le véhicule afin d'éviter les dommages durant le transport.

PRÉCAUTIONS SUPPLÉMENTAIRES POUR LES RADIOGRAPHIES X SUR SITE, Y COMPRIS LES RADIOGRAPHIES RÉALISÉES À L'AIDE D'ACCÉLÉRATEURS

11.40. Les procédures décrites dans la présente section s'appliquent à l'utilisation des appareils à rayons X et des techniques y afférentes, y compris les

accélérateurs et la radiographie en temps réel. Le choix de la tension du tube à rayons X est en principe étroitement lié aux exigences relatives à la qualité de la radiographie. Les conditions d'exposition (par exemple le fait que la source se situe à l'intérieur ou à l'extérieur de la pièce à radiographier, le recours à une technique simple ou double paroi) devraient être choisies de telle sorte que l'image obtenue soit de bonne qualité et que les doses reçues par les personnes situées à proximité soient réduites au minimum.

11.41. Avant de réaliser un tir, il faudrait effectuer les vérifications suivantes, lesquelles devraient figurer dans les procédures opérationnelles :

- a) Vérifier qu'aucune partie de l'appareil ne comporte de dommage visible.
- b) Vérifier que le tube à rayons X et toutes les extrémités dénudées des câbles ne sont ni endommagés, ni usés, ni sales, ni humides.
- c) Vérifier que les vis et les écrous sont serrés et que les filets de vis ne sont pas abîmés.
- d) Inspecter tous les câbles afin de vérifier qu'ils ne comportent ni entaille, ni cassure, ni nœud et qu'aucun de leurs raccords n'est coupé.
- e) Vérifier la lisibilité des caractéristiques de tir.

11.42. Si des anomalies sont découvertes, il ne faudrait pas utiliser l'appareil avant que du matériel de remplacement ne soit fourni ou qu'une réparation ne soit effectuée.

11.43. Les accélérateurs émettent des rayons X de très haute énergie. Le débit de dose à l'intérieur du faisceau principal d'un accélérateur est compris entre 50 mGy/mn (3 Gy/h) pour un accélérateur portable et 4 Gy/mn (240 Gy/h) pour un accélérateur mobile. Le débit de dose autour de l'appareil est beaucoup plus élevé qu'en radiographie X classique. Des mesures de contrôle plus approfondies devraient être prises afin de limiter l'exposition aux rayonnements des radiologues et des autres personnes situées à proximité.

11.44. En outre, il conviendrait de se servir de radiamètres portatifs adéquats qui répondent avec précision à un rayonnement impulsionnel. Il faudrait confirmer que les radiamètres portatifs utilisés en radiographie classique X ou gamma conviennent avant de s'en servir avec des accélérateurs.

12. TRANSPORT DES SOURCES RADIOACTIVES

DÉPLACEMENTS À L'INTÉRIEUR DU SITE

12.1. Lorsque des gammagraphes et des sources gamma doivent être déplacés à l'intérieur d'un site pour des travaux de radiographie, ils devraient être laissés dans l'installation d'entreposage jusqu'à ce qu'ils soient transportés vers le nouvel emplacement. Les accessoires devraient être débranchés des appareils et tous les bouchons et capuchons nécessaires devraient être fixés avant le déplacement.

12.2. Les sources ne devraient être déplacées qu'à l'intérieur des gammagraphes, lesquels devraient être fermés à clef, et les clefs devraient être retirées. Si l'on utilise un véhicule ou un chariot pour déplacer un gammagraphe, celui-ci devrait être solidement arrimé au véhicule ou au chariot. Les gammagraphes devraient être surveillés pendant toute la durée du déplacement à l'intérieur du site.

TRANSPORT VERS UN AUTRE SITE

12.3. Lorsque des sources de gammagraphie doivent être transportées vers un autre lieu de travail afin de réaliser des travaux de radiographie sur site, ils devraient être laissés dans l'installation d'entreposage jusqu'à ce qu'ils soient transportés vers le nouveau site. Comme indiqué ci-dessus, les accessoires devraient être débranchés des appareils et tous les bouchons et capuchons nécessaires devraient être fixés avant le transport.

12.4. Les sources ne devraient être déplacées que dans des colis, lesquels devraient être fermés à clef, et les clefs devraient être retirées. Les organismes exploitants devraient veiller à ce que le transport et les colis de transport soient conformes au Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA [23] ou à une réglementation nationale équivalente.

12.5. S'il y a lieu, il conviendra également de tenir compte de certains instruments internationaux contraignants applicables à des modes de transport particuliers, par exemple les Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses [31] de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et le Code maritime international des marchandises dangereuses (IMDG) [32] de l'Organisation maritime internationale (OMI).

12.6. Des accords régionaux comme l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) [33], l'Accord relatif au transport de marchandises dangereuses au sein du MERCOSUR signé par l'Argentine, le Brésil, le Paraguay et l'Uruguay (MERCOSUR) [34] et l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (ADN) [35] peuvent également s'appliquer.

12.7. Le Règlement de transport de l'AIEA [23] attribue des responsabilités aux personnes qui participent au transport de matières radioactives : l'expéditeur (une personne, un organisme ou un gouvernement qui prépare un envoi pour le transport), le transporteur (la personne, l'organisme ou le gouvernement qui entreprend de transporter des matières radioactives) et le destinataire (la personne, l'organisme ou le gouvernement qui reçoit un envoi). Dans de nombreux cas, pour des travaux de radiographie sur site, l'organisme exploitant remplit ces trois rôles et est tenu d'exercer les responsabilités associées à chacune de ces fonctions.

12.8. Le transport des matières radioactives est une activité complexe, par conséquent une présentation complète des prescriptions applicables sortirait du cadre du présent guide de sûreté. On trouvera des conseils sur la manière d'appliquer les prescriptions relatives au transport dans une publication de l'AIEA, l'*Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material* [36].

12.9. Des orientations concernant la sécurité du transport des matières radioactives ont été publiées par l'AIEA [37].

13. PRÉPARATION ET CONDUITE DES INTERVENTIONS D'URGENCE

GÉNÉRALITÉS

13.1. Les sources utilisées en radiographie industrielle émettent un rayonnement puissant et peuvent être très dangereuses. Les incidents qui ont eu lieu sont principalement dus à une fausse manœuvre ou à la défaillance d'un équipement et

ont exposé des travailleurs et des personnes du public à des doses de rayonnement élevées [14–18].

13.2. Parmi les situations types qui ont entraîné des incidents, on peut citer le fait que la source radioactive ou le gammagraphe soit endommagé, avec pour conséquence que la source reste bloquée en position de travail, et la séparation entre l'assemblage contenant la source et la gaine d'éjection, de sorte que le radiologue laisse par inadvertance la source sur le site.

13.3. De graves surexpositions ont eu lieu lorsque des travailleurs ont manipulé à la main une source non protégée ou lorsqu'une source radioactive perdue a été trouvée et emportée par une personne du public. Dans ces situations, les débits de dose sont suffisants pour blesser un individu en quelques secondes ou en quelques minutes. Dans certains cas, ils ont entraîné de graves brûlures par irradiation, lesquelles ont nécessité une amputation ou ont eu d'autres lourdes conséquences sur la santé.

13.4. Dans de nombreux cas, les incidents liés à des sources de radiographie industrielle auraient pu être évités ou leurs conséquences auraient pu être atténuées si les précautions suivantes avaient été prises :

- a) Les radiologues devraient :
 - être dûment formés et qualifiés et être compétents ;
 - respecter les règles locales et les autres procédures applicables ;
 - utiliser un radiamètre avant, pendant et après chaque tir ;
 - inspecter régulièrement et avec soin les équipements et les radiamètres avant de les utiliser ;
 - se servir correctement des équipements d'urgence ;
 - inspecter une dernière fois la zone de tir avant de quitter le site.
- b) Les appareils de radiographie (y compris leurs accessoires) devraient être conformes aux normes en vigueur.

13.5. Même si la prévention des incidents constitue la meilleure des protections, les situations d'urgence existent néanmoins. Les organismes exploitants devraient élaborer des plans d'urgence à l'avance afin de pouvoir réagir rapidement et de manière sûre pour atténuer les conséquences d'un incident. Une fois que l'urgence est passée, un rapport devrait être établi. Ce rapport devrait contenir un examen critique de la manière dont les procédures ont été mises en œuvre, les enseignements qui peuvent être tirés pour prévenir des incidents similaires à l'avenir et la manière dont les plans d'intervention peuvent être améliorés.

13.6. La présente section décrit des incidents et des urgences possibles en radiographie industrielle et émet des recommandations concernant l'élaboration des plans d'urgence afin d'atténuer les conséquences des incidents et des urgences.

ÉLABORATION DES PLANS D'URGENCE

13.7. Les prescriptions relatives aux obligations et aux responsabilités en matière de préparation et de conduite des interventions d'urgence figurent dans les NFI [2] et dans deux normes de sûreté de l'AIEA [38, 39]. L'AIEA a également publié des conseils concernant l'élaboration et la mise en œuvre des plans d'urgence et une méthode point par point pour développer une capacité intégrée d'intervention en urgence à l'échelle de l'entreprise, locale et nationale [40]. Lorsque des travaux de radiographie sont réalisés dans les locaux d'un client, les plans d'urgence devraient être discutés avec ce client.

13.8. Les incidents potentiels susceptibles d'affecter les travailleurs, les personnes du public ou l'environnement devraient être recensés lors de l'évaluation de la sûreté effectuée par l'organisme exploitant. Ils devraient servir de base à l'élaboration des plans d'urgence et des procédures d'intervention dans ces situations. Si possible, il conviendra de consulter un expert qualifié lors de la préparation des plans et des procédures d'urgence.

13.9. On peut considérer que les mesures de préparation aux situations d'urgence comprennent plusieurs étapes, chacune d'entre elles devant être effectuée par l'exploitant :

- a) Recensement des incidents possibles lors de travaux de radiographie industrielle, suivie d'une évaluation des risques associés ;
- b) Élaboration des plans et procédures d'urgence afin de faire face aux risques connus ;
- c) Spécification et acquisition d'équipements d'urgence ;
- d) Formation à la mise en œuvre des plans et procédures d'urgence, y compris la formation, en tant que de besoin, à l'utilisation des équipements d'urgence ;
- e) Exercices à intervalles suffisants afin de tester et d'évaluer la mise en œuvre des plans d'urgence ;
- f) Examens et mises à jour périodiques des plans d'urgence ;
- g) Rapports et notifications sur les incidents et les urgences.

13.10. La mise en œuvre d'un plan d'urgence peut faire intervenir des organismes extérieurs et des consultants spécialisés. Le plan devrait fournir des détails clairs sur les interventions extérieures et il faudrait de s'assurer que les intervenants ont pleinement conscience de leurs responsabilités et les acceptent. Il faudrait notamment mettre en place un système permettant des communications directes et efficaces entre toutes les parties concernées. Lorsqu'ils demandent une autorisation, les organismes exploitants devraient soumettre leurs plans d'urgence et les mécanismes associés à l'organisme de réglementation, s'il y a lieu.

TYPES DE SITUATIONS D'URGENCE

13.11. Une étude des situations d'urgence en radiographie montre qu'il existe plusieurs types d'incident qui se sont régulièrement produits dans le passé avec des sources de radiographie industrielle. Les organismes exploitants devraient envisager les types d'incident énumérés dans les paragraphes 13.12 et 13.13 ci-après dans leurs plans d'urgence, s'il y a lieu.

13.12. Pour les équipements de gammagraphie, l'organisme exploitant devrait envisager les incidents suivants :

- a) Une source se bloque dans la gaine d'éjection, dans le collimateur ou à proximité de l'orifice du gammagraphe.
- b) Un dommage physique affecte le blindage.
- c) Une source se détache du câble de télécommande et reste dans la gaine d'éjection.
- d) Une source est projetée au-delà de l'extrémité de la gaine d'éjection.
- e) Un dispositif d'inspection interne des canalisations (« crawler ») se bloque dans un tuyau alors qu'un tir est en cours.
- f) Une source est perdue.
- g) Un incendie se déclare.
- h) Des personnes non autorisées sont présentes dans la zone contrôlée pendant un tir.

13.13. Pour les générateurs de rayons X, l'organisme exploitant devrait envisager les incidents suivants :

- a) L'émission de rayonnement ne cesse pas à l'issue de la période de temps prévue.
- b) Un générateur de rayons X est involontairement mis sous tension.

- c) Un radiologue n'arrive pas à mettre fin à une émission de rayonnement commandée manuellement.
- d) Un système de sûreté ou d'avertissement fonctionne mal, y compris dans le cas où un opérateur a neutralisé délibérément l'un des systèmes.
- e) Une défaillance a pour conséquence que des rayons X sont émis de manière incontrôlée.
- f) Un dommage physique affecte le blindage ou la filtration.
- g) Des personnes non autorisées sont présentes dans la zone contrôlée pendant un tir.

CONTENU D'UN PLAN D'URGENCE CLASSIQUE

13.14. Les exploitants devraient veiller à ce que les plans d'urgence prennent en compte les urgences raisonnablement prévisibles recensées lors de l'évaluation de la sûreté. S'agissant des urgences en radiographie industrielle, l'intervention spécifique dépend du type d'événement et peut varier en fonction des conditions locales, par exemple si une radiographie est effectuée sur un échafaudage ou à l'intérieur d'une canalisation dans une tranchée.

13.15. Le plan d'urgence devrait laisser une marge de manœuvre lors des interventions et une répétition des éléments spécifiques de l'intervention devrait être effectuée avant de mettre en œuvre le plan. Les plans devraient s'attacher à limiter autant que raisonnablement possible les expositions qui pourraient résulter de l'incident. Le plan d'urgence devrait comprendre les éléments suivants :

- a) Des conseils sur le moment où il faut mettre en œuvre le plan d'urgence.
- b) Une formation préalable en tant que de besoin pour les travailleurs qui devront appliquer les procédures.
- c) Une description des équipements prévus pour les interventions d'urgence et des informations concernant leur disponibilité.
- d) Des données techniques et des données relatives à la radioprotection pour chaque situation.
- e) Les procédures à suivre aux diverses étapes, procédures qui sont propres à chaque type d'urgence recensé :
 - i) Étape initiale, contenir la situation ;
 - ii) Étape de préparation, préparer et répéter l'étape de redressement de la situation ;
 - iii) Étape de redressement de la situation, reprendre le contrôle de la situation ;

- iv) Étape de posturgence, revenir à une situation normale ;
 - v) Étape d'élaboration du rapport : préparation d'un rapport comprenant notamment une évaluation des doses reçues ;
 - vi) Consultations auprès d'experts médicaux en cas de surexposition, s'il y a lieu.
- f) Identification des personnes autorisées à mettre en œuvre les diverses étapes du plan.
 - g) Identification de toutes les personnes et organismes qui devraient être contactés si nécessaire aux différentes étapes du plan, ainsi que les numéros de téléphone et de fax et les courriels correspondants.

13.16. Afin de réduire au minimum les expositions et de réaliser une intervention satisfaisante, l'organisme exploitant devrait au minimum veiller :

- a) à limiter l'accès aux abords de la source — à ce que les barrières qui entourent la zone contrôlée soient correctement placées compte tenu de la situation ;
- b) à ce que le responsable de la radioprotection (et un expert qualifié si nécessaire) soit informé ;
- c) à ce que le personnel reste calme, s'éloigne jusqu'à une distance suffisante pour la sûreté, prépare les étapes suivantes, répète les actions sans la source puis mette en œuvre le plan ;
- d) à ce qu'aucune personne ne pénètre dans une zone où les débits de dose sont potentiellement élevés mais inconnus si elle ne porte pas un radiamètre en état de marche et, de préférence, un détecteur d'alarme individuel et/ou un dosimètre actif ;
- e) à ce que personne ne touche une source radioactive ou n'approche ses mains de ce type de source ;
- f) à ce que personne n'outrepasse ses pouvoirs ou ses compétences individuelles ;
- g) à demander de l'aide à un expert qualifié ou au fournisseur de la source si nécessaire.

ÉQUIPEMENTS D'URGENCE

13.17. Les exploitants devraient veiller à ce que tous les équipements d'urgence nécessaires pour faire face à toutes les urgences raisonnablement prévisibles soient disponibles sur-le-champ. Des audits réguliers devraient être réalisés afin de s'assurer que tous ces équipements sont disponibles et qu'ils fonctionnent tous correctement.

13.18. Pour les urgences liées à des sources de radiographie gamma, le matériel suivant devrait être disponible :

- Des radiamètres adéquats et en état de marche pour mesurer des débits de dose, que ceux-ci soient élevés ou faibles ;
- Des dosimètres individuels à alarme et des dosimètres actifs (de préférence des dosimètres électroniques individuels plutôt que des stylos dosimètres) ;
- Des dosimètres individuels supplémentaires (dosimètres thermoluminescents et/ou dosifilms) ;
- Du matériel pour les barrières et des pancartes ;
- Des sacs de grenaille de plomb et des feuilles de plomb supplémentaires ;
- Une trousse à outils et du matériel permettant de récupérer une source adéquats (longues pinces de manipulation, tenailles, tournevis, coupe-boulons, clés à molette, scie à métaux et lampe torche) ;
- Un conteneur blindé de secours pour les urgences ;
- Du matériel de communication (par exemple téléphone portable, émetteurs et récepteurs radio) ;
- Des piles et des batteries de rechange pour les radiamètres, les dosimètres électroniques individuels, les téléphones portables et les lampes torches ;
- Stylos, papier, calculatrice et journal de bord des incidents ;
- Manuels d'utilisation des appareils.

13.19. Si l'opérateur soupçonne que la capsule de la source a été endommagée, des précautions supplémentaires devraient être prises car des substances radioactives peuvent s'échapper de la source : il existe donc un risque de contamination des personnes et des objets situés à proximité. La détection et la mesure d'une contamination radioactive nécessitent du matériel de mesure spécifique et une compétence particulière auxquels la plupart des entreprises qui effectuent des travaux de radiographie n'ont en général pas facilement accès. Si l'organisme exploitant sait ou soupçonne que la capsule d'une source s'est rompue, il devrait rapidement demander conseil à un expert qualifié.

PROCÉDURES D'URGENCE SPÉCIFIQUES

Sources gamma

13.20. La présente section donne des orientations pratiques pour les urgences liées à des sources gamma utilisées en radiographie industrielle. Même si les étapes sont présentées dans l'ordre où elles devraient être effectuées, la séquence devrait si nécessaire être adaptée lors de l'intervention. Comme pour toute

urgence radiologique, au premier rang des priorités devrait figurer la protection des personnes.

Le radiologue (initiateur de l'intervention) devrait :

- a) se rendre compte qu'une situation anormale qui pourrait constituer une urgence s'est produite ;
- b) rester calme et s'éloigner de la source en position de travail ; veiller à ce que tous les autres radiologues situés à proximité sachent qu'il y a peut-être un problème ;
- c) mesurer les débits de dose de rayonnement et consigner toutes les doses mesurées par les dosimètres actifs ;
- d) établir ou rétablir les barrières de la zone contrôlée en fonction des niveaux de référence pour les débits de dose fixés dans les prescriptions et les orientations réglementaires ;
- e) interdire l'accès à la nouvelle zone contrôlée ;
- f) ne pas laisser la zone contrôlée sans surveillance ;
- g) informer le responsable de la radioprotection de l'organisme exploitant et le client et demander de l'aide.

Le responsable de la radioprotection devrait :

- a) préparer une séquence d'intervention spécifique à partir des procédures d'urgence élaborées auparavant, en prenant soin de réduire au minimum les doses qui peuvent être reçues lors de l'intervention ;
- b) s'éloigner de la zone contrôlée et répéter la séquence prévue avant de pénétrer dans la zone et de mettre en œuvre le plan d'urgence ;
- c) mettre en œuvre la séquence d'intervention prévue dans la mesure où la formation, les équipements et les autorisations le permettent ; ne laisser en aucun cas la source entrer en contact avec les mains ou d'autres parties du corps ;
- d) si la séquence d'intervention échoue, quitter la zone contrôlée et réfléchir à une nouvelle séquence tout en continuant à surveiller la zone contrôlée ;
- e) si nécessaire, faire appel à l'assistance technique d'un expert qualifié ou du fabricant ;
- f) lorsque l'urgence est passée et que la sûreté de la source est assurée, évaluer les doses reçues et établir un rapport ;
- g) renvoyer les dosimètres individuels au service de dosimétrie afin d'évaluer précisément les expositions ;

- h) envoyer l'équipement endommagé ou qui fonctionne mal au fabricant ou à un expert qualifié pour examen détaillé et réparation avant qu'il ne soit réutilisé ;
- i) établir un rapport d'accident et envoyer une notification à l'organisme de réglementation, s'il y a lieu.

Générateurs de rayons X

13.21. Dans une situation anormale liée à un générateur de rayons X, les étapes suivantes devraient être effectuées :

Le radiologue (initiateur de l'intervention) :

- a) devrait se rendre compte qu'une situation anormale, qui pourrait constituer une urgence, s'est produite ;
- b) devrait couper l'alimentation de l'appareil de radiographie ;
- c) devrait mesurer le rayonnement afin de confirmer que le tube n'est plus sous tension ;
- d) ne devrait pas déplacer l'appareil de radiographie tant que des paramètres comme la position, la direction du faisceau et les caractéristiques du tir (tension du tube, courant et durée) n'ont pas été consignés ;
- e) devrait informer le responsable de la radioprotection de ce qui s'est passé ;
- f) ne devrait pas utiliser le générateur de rayons X avant qu'il ait été examiné et réparé par le fabricant ou par un expert qualifié.

Le responsable de la radioprotection devrait :

- a) évaluer les doses qui ont pu être reçues et établir un rapport ;
- b) renvoyer les dosimètres individuels au service de dosimétrie afin d'évaluer précisément les expositions ;
- c) établir un rapport d'accident et envoyer une notification à l'organisme de réglementation s'il y a lieu.

FORMATION ET EXERCICES

13.22. Toutes les personnes qui participeront à la mise en œuvre des plans d'urgence devraient être convenablement formées afin de remplir leur rôle efficacement. À ce titre, elles devraient bien connaître ces plans et suivre une formation spécifique sur les procédures de récupération des sources et sur l'utilisation des équipements d'urgence.

13.23. Individuellement, les travailleurs ne devraient mettre en œuvre que les parties des plans d'urgence pour lesquelles ils sont habilités et formés et pour lesquels ils disposent du matériel adéquat. Il faudrait s'interroger régulièrement sur l'opportunité d'une formation afin de s'assurer que les travailleurs restent compétents dans ce domaine.

13.24. Il est recommandé de procéder à des exercices d'urgence afin de tester les éléments critiques des plans d'urgence à des intervalles proportionnés aux risques potentiels. Tous les enseignements tirés de ces exercices devraient être évoqués lors des examens des plans d'urgence.

EXAMENS PÉRIODIQUES DES PLANS ET DES ÉQUIPEMENTS

13.25. Des examens en bonne et due forme des plans d'urgence devraient être réalisés chaque année afin de s'assurer que :

- a) toutes les personnes et tous les organismes qui devraient si nécessaire être contactés aux différentes étapes du plan ont été recensés et que les numéros de téléphone et de fax et les courriels correspondants sont à jour ;
- b) les équipements d'urgence sont immédiatement disponibles et sont entretenus.

13.26. Les examens périodiques devraient prévoir une mise à jour de tous les aspects applicables des plans d'urgence pour tenir compte des enseignements tirés des exercices, des incidents et des urgences.

RÉDACTION DE RAPPORTS

13.27. L'objectif principal de la préparation et de la conduite des interventions d'urgence devrait être d'atténuer les conséquences des situations d'urgence. Cependant, il devrait être tout aussi important d'examiner d'un œil critique les situations qui se sont produites afin d'en tirer des enseignements qui permettent d'améliorer les équipements, les procédures de maintenance, les procédures opérationnelles et les plans d'urgence. À cette fin, il faudrait établir un rapport détaillé pour chaque urgence ou incident.

13.28. Les rapports d'urgence ou d'incident devraient être établis par le responsable de la radioprotection avec, si nécessaire, l'aide d'experts qualifiés. Ces rapports devraient être remis à la direction et, s'il y a lieu, à l'organisme de

réglementation. Si la situation d'urgence peut avoir été provoquée par le mauvais fonctionnement d'un équipement, le fournisseur devrait en être averti afin que cet équipement soit évalué et que les mesures nécessaires soient prises.

13.29. Un rapport d'incident ou d'urgence devrait contenir les éléments suivants :

- a) Une description de l'incident ou de la situation d'urgence, avec autant de détails que possible sur l'équipement en cause. Il faudrait notamment indiquer le numéro de modèle et le numéro de série de l'équipement chaque fois que cela est possible ;
- b) Les conditions environnementales lors de l'incident ou de la situation d'urgence, en précisant notamment si ces conditions ont notablement contribué à la situation d'urgence ou à l'incident ou ont influé sur son dénouement ;
- c) La cause précise de l'incident ou de la situation d'urgence ;
- d) Des détails sur les mesures prises pour reprendre le contrôle de la situation et revenir à un état normal, en précisant notamment toutes les mesures qui ont été particulièrement bénéfiques ou préjudiciables.
- e) La formation et l'expérience des personnes concernées.
- f) Une évaluation et une synthèse des doses reçues par toutes les personnes affectées.
- g) Des recommandations formulées dans le but de prévenir des incidents ou des situations d'urgence similaires à l'avenir et d'en atténuer les conséquences si un incident ou une situation d'urgence similaire ou voisine se produit.

13.30. Un exemplaire de ce rapport devrait être envoyé à l'organisme de réglementation, surtout lorsque cela est prescrit par les conditions de l'autorisation ou par la réglementation nationale. Les enseignements tirés du rapport devraient être communiqués à toutes les personnes concernées, y compris le fabricant s'il y a lieu, et toutes les améliorations nécessaires pour accroître la sûreté devraient être menées à bien.

Appendice

CATÉGORISATION DES SOURCES RADIOACTIVES EFFECTUÉE PAR L'AIEA

A.1. Le guide de sûreté de l'AIEA sur la catégorisation des sources radioactives [19] contient un système de catégorisation, notamment pour les sources radioactives utilisées dans l'industrie, en médecine et dans l'agriculture, la recherche et l'enseignement. Ce système peut également s'appliquer, s'il y a lieu dans le contexte national, aux sources radioactives mises en œuvre dans le cadre des programmes militaires.

A.2. Ce guide de sûreté [19] fournit une base harmonisée au plan international pour la prise de décision en fonction des risques encourus. Il est basé sur une méthode claire et logique qui permet de l'appliquer avec souplesse dans un grand nombre de situations. Des décisions en fonction des risques peuvent être prises selon une approche graduée du contrôle réglementaire des sources radioactives aux fins de la sûreté et de la sécurité.

A.3. Le système de catégorisation repose sur la notion de « sources dangereuses » — lesquelles sont quantifiées par des « valeurs D » [41]. La valeur D correspond à l'activité spécifique du radionucléide contenu dans une source radioactive qui, si elle n'est pas soumise à un contrôle, pourrait provoquer des effets déterministes graves dus à la fois à une exposition externe en l'absence de protection et à une exposition interne en cas de dispersion de matière brute.

TABEAU A.1. ACTIVITÉ DES RADIONUCLÉIDES UTILISÉS EN RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE CORRESPONDANTS AUX SEUILS DES CATÉGORIES

Radionucléide	Catégorie 1		Catégorie 2		Catégorie 3	
	$1000 \times D$		$10 \times D$		D	
	(TBq)	(Ci) ^a	(TBq)	(Ci) ^a	(TBq)	(Ci) ^a
Cobalt-60	$3,0 \times 10^1$	$8,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^{-1}$	8,0	$3,0 \times 10^{-2}$	$8,0 \times 10^{-1}$
Césium-137	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^3$	1,0	$3,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^{-1}$	3,0
Iridium-192	$8,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^3$	$8,0 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^1$	$8,0 \times 10^{-2}$	2,0
Sélénium-75	$2,0 \times 10^2$	$5,0 \times 10^3$	2,0	$5,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^{-1}$	5,0
Thulium-170	$2,0 \times 10^4$	$5,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^2$	$5,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^1$	$5,0 \times 10^2$
Ytterbium-169	$3,0 \times 10^2$	$8,0 \times 10^3$	3,0	$8,0 \times 10^1$	$3,0 \times 10^{-1}$	8,0

^a Les principales valeurs à utiliser sont données en TBq. Les valeurs en curies sont indiquées par commodité et sont arrondies après conversion.

TABLEAU A.2. CATÉGORIES RECOMMANDÉES POUR LES SOURCES COURAMMENT UTILISÉES EN RADIOGRAPHIE

Catégorie	Source	$A/D^{a, b}$
1	Générateurs isotopiques Irradiateurs Sources de téléthérapie Sources fixes de téléthérapie multifaisceau (<i>gamma knife</i>)	$A/D \geq 1000$
2	Sources de gammagraphie industrielle Sources de curiethérapie à débit de dose élevé/moyen	$1000 > A/D \geq 10$
3	Jauges industrielles fixes contenant des sources de haute activité ^c Jauges de diagraphie	$10 > A/D \geq 1$
4	Sources de curiethérapie à faible débit de dose (sauf les disques ophtalmiques et les implants permanents) Jauges industrielles ne contenant pas de sources de haute activité Ostéodensitomètres Éliminateurs d'électricité statique	$1 > A/D \geq 0,01$
5	Sources de curiethérapie à faible débit de dose (disques ophtalmiques et implants permanents) Appareils à fluorescence X DéTECTEURS à capture d'électrons Sources utilisées en spectrométrie Mössbauer Sources témoins utilisées en tomographie par émission de positons	$0,01 > A/D$ et $A > \text{exempté}^d$

^a A représente l'activité de la source en TBq. Des facteurs autres qu' A/D ont été pris en considération pour classer les sources dans les différentes catégories (voir l'annexe I de la référence [19]).

^b Cette colonne peut servir à déterminer la catégorie d'une source uniquement à partir de la valeur d' A/D . Cela est utile, par exemple, si les installations ou les activités ne sont ni connues ni répertoriées, si les sources ont une courte période radioactive et/ou ne sont pas scellées ou si elles sont agrégées [19].

^c Des exemples en sont donnés dans le guide de sûreté sur la catégorisation [19].

^d Les quantités correspondant à un niveau d'exemption figurent dans l'appendice complémentaire I des NFI [2].

SOURCES DONT L'ACTIVITÉ A DIMINUÉ

A.4. Si l'activité d'une source diminue jusqu'à une valeur inférieure au seuil correspondant du tableau A.1 ou atteint un niveau inférieur à celui auquel la source est généralement utilisée pour une application donnée (présentée dans le tableau A.2), l'organisme de réglementation peut autoriser l'exploitant à modifier

la catégorie de la source et à lui attribuer un niveau de sécurité plus faible en fonction du rapport A/D .

AGRÉGATION DE SOURCES

A.5. Dans certaines situations, plusieurs sources radioactives sont proches les unes des autres, notamment lors de la fabrication (par exemple, dans la même salle ou le même bâtiment), ou dans les installations d'entreposage (dans la même enceinte, par exemple). En pareil cas et dans le but de mettre en œuvre les mesures de contrôle réglementaire, l'organisme de réglementation peut agréger l'activité des différentes sources et déterminer une catégorie spécifique à la situation.

A.6. Le cas échéant, la somme des activités des radionucléides devrait être divisée par la valeur D adéquate et le rapport A/D obtenu devrait être comparé à ceux du tableau A.2. Cela permet de catégoriser l'ensemble de sources en fonction de l'activité. Si des sources contenant plusieurs radionucléides différents sont agrégées, il est proposé, pour les catégoriser, d'additionner les rapports A/D selon la formule suivante :

$$A/D \text{ total} = \sum_n \frac{\sum_i A_{i,n}}{D_n}$$

où

$A_{i,n}$ est l'activité de chaque radionucléide n contenu dans la source individuelle i ; et

D_n est la valeur D pour le radionucléide n .

A.7. Cette valeur d' A/D total devrait alors être comparée aux rapports A/D du tableau A.2 afin de déterminer le niveau de sécurité adéquat pour des sources situées au même endroit. On trouvera plus d'informations sur l'agrégation de l'activité de sources radioactives dans la référence [19].

RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Cadre gouvernemental, législatif et réglementaire de la sûreté, collection Normes de sûreté n° GSR Part 1, AIEA, Vienne (2010).
- [2] 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, Vienne (1997).
- [3] 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, Contrôle réglementaire des sources de rayonnements, collection Normes de sûreté n° GS-G-1.5, AIEA, Vienne (2011).
- [4] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Sûreté des générateurs de rayonnements et des sources radioactives scellées, collection Normes de sûreté de l'AIEA n° RS-G-1.10, AIEA, Vienne (2008).
- [5] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Glossaire de sûreté de l'AIEA, Terminologie employée en sûreté nucléaire et en radioprotection, Édition 2007, AIEA, Vienne (2007).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Training Guidelines in Non-destructive Testing Techniques: 2008 Edition, IAEA-TECDOC-628, Rev. 2, IAEA, Vienna (2008).
- [7] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Radioprotection professionnelle, collection Normes de sûreté N° RS-G-1.1, AIEA, Vienne (2004).
- [8] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Système de gestion des installations et des activités, collection Normes de sûreté N° GS-R-3, AIEA, Vienne (2011).
- [9] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Systèmes de management de la qualité — Principes essentiels et vocabulaire, ISO 9000 : 2000, ISO, Genève (2000).
- [10] 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).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Training in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources, Safety Reports Series No. 20, IAEA, Vienna (2001).
- [12] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINNE DE LA SANTÉ, Établissement de la compétence en radioprotection et utilisation sûre des sources de rayonnements, collection Normes de sûreté n° RS-G-1.4, AIEA, Vienne (2005).

- [13] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, Évaluation de l'exposition professionnelle due aux sources externes de rayonnements (publication de la collection Normes de sûreté n° RS-G-1.3, AIEA, Vienne (2004).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Cochabamba, IAEA, Vienna (2004).
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Gilan, IAEA, Vienna (2002).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Yanango, IAEA, Vienna (2000).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Nueva Aldea, IAEA, Vienna (2009).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7, IAEA, Vienna (1998).
- [19] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Catégorisation des sources radioactives, collection Normes de sûreté n° RS-G-1.9, AIEA, Vienne (2011).
- [20] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, IAEA/CODEOC/2004, AIEA, Vienne (2004).
- [21] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Orientations pour l'importation et l'exportation de sources radioactives, IAEA/CODEOC/IMP-EXP/2005, AIEA, Vienne, (2005).
- [22] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Sécurité des sources radioactives, Collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 11, AIEA, Vienne (2012).
- [23] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Règlement de transport des matières radioactives, Édition de 2009, collection Normes de sûreté n° TS-R-1, AIEA, Vienne (2009).
- [24] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Radioprotection — Sources radioactives scellées — Prescriptions générales et classification, ISO 2919:1999(F), ISO, Genève (1999).
- [25] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Radioprotection — Sources radioactives scellées — Méthodes d'essai d'étanchéité, ISO 9978:1992(F), ISO, Genève (1992).
- [26] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Radioprotection — Appareils pour radiographie gamma industrielle — Spécifications de performance, de conception et d'essais, ISO 3999:2004(F), ISO, Genève (2004).
- [27] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Symbole de base pour les rayonnements ionisants, ISO 361:1975(F), ISO, Genève (1975).
- [28] COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE, Sécurité des machines — Équipement électrique des machines — Partie 1: Règles générales, norme internationale CEI 60204-1, CEI, Genève (2005).
- [29] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Déclassement des installations utilisant des matières radioactives, collection Normes de sûreté n° WS-R-5, AIEA, Vienne (2009).

- [30] 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).
- [31] ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE, Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses, Édition de 2007-2008, OACI, Montréal (2007).
- [32] ORGANISATION MARITIME INTERNATIONALE, Code maritime international des marchandises dangereuses (code IMDG édition 2006) (IF200F) Amendement 33-06, OMI, Londres (2006).
- [33] COMMISSION ÉCONOMIQUE DES NATIONS UNIES POUR L'EUROPE, COMITÉ DES TRANSPORTS INTÉRIEURS, Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR), Édition 2007, CEE-ONU, Genève (2006).
- [34] MERCOSUR, Accord relatif au transport de marchandises dangereuses au sein du MERCOSUR, signé par l'Argentine, le Brésil, le Paraguay et l'Uruguay (1994).
- [35] COMMISSION ÉCONOMIQUE DES NATIONS UNIES POUR L'EUROPE, COMITÉ DES TRANSPORTS INTÉRIEURS, Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (ADN), Édition 2007, CEE-ONU, Genève (2006).
- [36] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. TS-G-1.1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2008).
- [37] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Sécurité du transport des matières radioactives, collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 9, AIEA, Vienne (2012).
- [38] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, BUREAU DE LA COORDINATION DES AFFAIRES HUMANITAIRES DE L'ONU, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINE DE LA SANTÉ, Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, collection Normes de sûreté n° GS-R-2, AIEA, Vienne (2004).
- [39] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna (2007).
- [40] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, Updating IAEA-TECDOC-953, IAEA, Vienna (2003).
- [41] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Quantités dangereuses de matières radioactives (valeurs D), collection Préparation et conduite des interventions d'urgence, AIEA, Vienne (2012).

Annexe I

EXEMPLE D'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

INTRODUCTION

I-1. L'organisme exploitant effectue une évaluation de la sûreté pour toute source de rayonnement placée sous son contrôle afin de déterminer les mesures nécessaires pour limiter l'exposition de ses salariés. Les conditions de travail normales et les risques d'accidents sont tous deux pris en compte dans l'évaluation de la sûreté.

I-2. L'exemple d'évaluation de la sûreté qui va suivre porte sur l'utilisation des rayons X et gamma à l'intérieur d'une enceinte blindée spécialement conçue pour une société hypothétique qui réalise des contrôles non destructifs. Les éléments suivants sont pris en compte dans l'évaluation :

- a) Utilisations normales pour des travaux de radiographie à l'intérieur de l'enceinte ;
- b) Situations accidentelles possibles et mesures permettant de prévenir les accidents et de limiter leurs conséquences ;
- c) Mesures de contrôle afin de limiter les expositions ;
- d) Expositions potentielles et doses possibles durant les opérations normales de radiographie.

Sources de radiographie

I-3. L'organisme exploitant est autorisé à utiliser des sources de radiographie émettant des rayons X ou gamma dans une enceinte blindée. Sources autorisées :

- a) Un générateur de rayons X (directionnel) utilisé à 250 kV et 4 mA — émet un rayonnement de 4 Sv.h^{-1} à 1 m ;
- b) Une source de ^{60}Co dont l'activité est au maximum de 925 GBq ;
- c) Une source d' ^{192}Ir dont l'activité est au maximum de 3,7 TBq.

Personnes à risque

I-4. Les personnes à risque sont les radiologues et les autres salariés qui travaillent à proximité.

Mesures existantes permettant de contrôler les expositions

I-5. L'enceinte blindée est dotée de systèmes de sûreté de haute qualité de sorte que l'ouverture de la porte de l'enceinte pendant un tir radiologique met automatiquement fin à l'exposition aux rayons X ou provoque le retour de la source gamma à sa position de protection. Un tir ne peut commencer tant que la porte de l'enceinte est ouverte.

I-6. Les systèmes et procédures de sûreté garantissent qu'il n'est possible d'utiliser qu'une seule source de rayonnements à la fois. Des symboles de la radioactivité (trèfles) figurent sur toutes les portes afin d'indiquer l'existence d'un risque radiologique. L'enceinte blindée est équipée d'un détecteur de rayonnements fixe, de témoins lumineux et de signaux d'avertissement qui permettent de savoir si un tir est sur le point de commencer ou est en cours.

I-7. Des boutons d'arrêt d'urgence sont installés dans l'enceinte blindée. Ces boutons peuvent être actionnés par toute personne située à l'intérieur de l'enceinte de radiographie et provoquent l'arrêt du générateur de rayons X et le retour de la source gamma à sa position de protection.

I-8. L'enceinte est protégée, de sorte que les débits de dose maximaux à l'extérieur au niveau du sol sont inférieurs à $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Cela signifie que la dose annuelle maximale reçue par une personne située à l'extérieur de l'enceinte est inférieure à 0,25 mSv dans l'hypothèse où la durée de présence maximale dans la zone est de 250 heures par an. Cette dose estimée est jugée acceptable.

I-9. Des systèmes et des procédures de sûreté ont été mis en place pour empêcher l'accès au toit durant les travaux de radiographie.

DOSES POSSIBLES DUES À DES ACCIDENTS

I-10. Les situations suivantes sont considérées comme des scénarios d'accidents prévisibles :

- a) Source gamma qui ne revient pas correctement en position de protection ;
- b) Source qui tombe ou se détache (emplacement inconnu) ;
- c) Source manquante ou volée ;
- d) Défaillance d'un système d'alerte ou de sûreté qui entraîne l'entrée d'une personne dans l'enceinte pendant un tir ;

- e) Incendie ou dommage mécanique qui détériore le blindage d'un appareil de tir ou qui altère l'intégrité d'une source scellée.

I-11. Dans chacun des scénarios ci-dessus, le cas le plus défavorable qui soit prévisible est qu'un individu soit soumis à une exposition près d'une source non protégée ou d'un générateur de rayons X sous tension. Le tableau I-1 présente un aperçu des doses à l'organisme qui pourraient en résulter.

I-12. Très près des sources de rayonnements, les débits de dose seront très élevés :

- a) Pour la source gamma, la dose reçue par les mains si elles étaient placées à une distance de cinq centimètres de la source pendant cinq minutes serait d'environ 11 grays (pour la source de ^{60}Co) ou 16 grays (pour la source d' ^{192}Ir). Ces niveaux de dose entraîneraient des effets déterministes graves pour les mains.
- b) Pour le générateur de rayons X, la dose reçue par les mains si elles se trouvaient à proximité de la fenêtre du générateur pendant cinq minutes serait d'environ huit grays (en supposant que la distance foyer-peau est de 20 cm). Cela entraînerait des effets déterministes graves pour les mains (brûlures par irradiation).

TABLEAU I-1. DÉBIT DE DOSE À UN MÈTRE ET DURÉE POUR UNE EXPOSITION À UN MÈTRE TELLE QUE LA DOSE À L'ORGANISME SOIT SUPÉRIEURE À 20 MILLISIEVERTS POUR TROIS SOURCES DIFFÉRENTES

Source (activité)	Débit de dose à 1 m (mSv.h ⁻¹)	Durée pour une exposition à 1 m telle que la dose à l'organisme soit supérieure à 20 mSv
^{60}Co (925 GBq)	325	3 mn 42 s
^{192}Ir (3,7 TBq)	480	2 mn 30s
Générateur de rayons X utilisé à 250 kV et 4 mA	4 000	18 s

I-13. L'organisme exploitant a mis en place un certain nombre de mesures afin de réduire le risque d'accident et d'atténuer les conséquences d'un accident s'il se produit. Parmi ces mesures, on peut citer :

- a) La formation continue de tout le personnel concerné à la sûreté radiologique ;
- b) La mise en place de procédures écrites afin de réduire au minimum le risque d'erreur humaine ;
- c) La maintenance régulière du générateur de rayons X, du projecteur et du dispositif d'éjection ;
- d) Des contrôles fréquents afin de confirmer l'emplacement des sources radioactives ;
- e) Une maintenance régulière des systèmes de sûreté et d'alerte ainsi que des contrôles de routine sur leur fonctionnement ;
- f) Des détecteurs de rayonnements installés en permanence à l'intérieur de l'enceinte blindée ;
- g) La mise à disposition de détecteurs de rayonnement portatifs ;
- h) Des mesures de prévention des incendies ;
- i) La mise en place de plans d'urgence détaillés, d'une formation régulière aux situations d'urgence et d'exercices d'urgence.

MESURES DE CONTRÔLE

I-14. L'évaluation de la sûreté décrite ici montre que des mesures de protection sont nécessaires afin de limiter les expositions. La mise en place d'un blindage, l'utilisation de systèmes de sûreté et d'alerte et le respect des procédures écrites constituent des mesures de protection nécessaires en zone contrôlée. L'intérieur de l'enceinte est classé en zone contrôlée.

I-15. Les mesures définies ci-après garantissent que les doses de rayonnement reçues par les radiologues et d'autres personnes dans la zone de l'installation de radiographie seront contrôlées de manière satisfaisante.

Zones classées

Zones contrôlées

I-16. L'intérieur de l'installation blindée est classé en zone contrôlée étant donné que des procédures particulières sont nécessaires pour maîtriser les expositions et pour empêcher ou limiter les expositions potentielles. L'entrée dans la zone contrôlée est réservée aux personnes autorisées équipées de dosimètres individuels.

Zones surveillées

I-17. Les alentours immédiats de l'enceinte et les couloirs sont classés en zone surveillée. Cette classification repose sur le fait que, même si le risque d'irradiation dans ces zones est minime, la situation est susceptible d'évoluer (par exemple en cas de modification des méthodes de travail ou de détérioration du blindage). Il est donc opportun de surveiller en permanence la situation dans ces zones.

Dispositions nécessaires pour limiter les expositions

I-18. Des règles locales détaillées indiquent les procédures à suivre pour limiter les expositions lorsque des travaux de radiographie sont effectués. La limitation des expositions est également obtenue en utilisant des appareils de radiographie équipés de systèmes d'alertes sûrs en cas de défaillance. Si les règles locales sont respectées, les expositions seront limitées autant qu'il est raisonnablement possible de le faire.

Dispositions particulières pour les salariées

I-19. Si l'organisme exploitant emploie une salariée, celle-ci est avisée de la nécessité et de l'importance d'informer son responsable si elle tombe enceinte et des dispositions adéquates seront prises pour assurer la protection du fœtus contre les rayonnements.

Niveau d'investigation pour les doses

I-20. La direction a fixé un niveau d'investigation de deux millisieverts par an pour les doses. À condition que tous les systèmes de sûreté fonctionnent correctement et que toutes les procédures soient respectées, le risque d'exposition est faible et ce niveau ne sera pas dépassé. Cette valeur constitue un outil de gestion utile et est intégrée aux règles locales.

Formation et compétences

I-21. L'ensemble du personnel est suffisamment formé pour comprendre la nature des risques radiologiques et l'importance du respect des procédures indiquées. Tout le personnel sait qu'il est essentiel de réduire les doses de rayonnement au minimum et de prévenir la survenance d'incidents ou d'atténuer les conséquences de tels incidents. Il dispose également de suffisamment d'informations sur les prescriptions réglementaires nationales. Le responsable de

la radioprotection vérifie régulièrement s'il est nécessaire d'organiser des séances de rafraîchissement des connaissances. Un dossier contenant toutes les formations suivies est conservé. Tous les radiologues sont titulaires d'un diplôme reconnu par l'État en techniques de radiographie industrielle et ont été formés à la sûreté radiologique.

Évaluation des doses individuelles

I-22. Le personnel de radiographie est susceptible de recevoir des doses élevées en cas de non-respect des procédures ou d'accident. Par conséquent, tous les membres du personnel de radiographie sont soumis à une surveillance radiologique individuelle et disposent de dosimètres thermoluminescents qui sont renouvelés toutes les deux semaines. Les dosimètres sont portés durant tout le temps de travail et, hors utilisation, sont à l'abri des rayonnements.

Surveillance de la santé

I-23. Les radiologues subissent un examen médical annuel effectué par un médecin habilité par l'organisme de réglementation. Ils ont le droit de connaître les résultats de ces examens.

Contrôle radiologique du lieu de travail

I-24. Des contrôles radiologiques du lieu de travail de routine sont effectués afin de vérifier que les zones contrôlées sont suffisamment étendues et de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes de sûreté automatiques. Des contrôles radiologiques de routine sont réalisés autour des zones contrôlées et des zones surveillées une fois par semaine et à chaque fois qu'une source radioactive est remplacée. Un contrôle radiologique spécial est effectué en cas de modification des techniques de radiographie ou de direction du faisceau. Conformément aux prescriptions réglementaires, l'organisme exploitant consigne tous les contrôles radiologiques réalisés.

I-25. De surcroît, des radiamètres installés à l'intérieur de l'enceinte blindée permettent de connaître en permanence le débit de dose.

I-26. Les débitmètres de dose sont testés chaque année par un laboratoire d'essais. Les certificats d'essais des instruments de mesure sont conservés par le responsable de la radioprotection.

Comptabilisation des sources radioactives

I-27. Toutes les sources radioactives sont identifiables de manière unique et leur emplacement est vérifié et consigné chaque jour ouvré. Tous les remplacements de sources radioactives sont également notés et toutes les sources usées sont renvoyées à leur fournisseur d'origine.

Évaluation des systèmes de sûreté

I-28. La limitation des expositions repose fortement sur des systèmes de sûreté automatisés qui effectuent des mesures de contrôle. Le bon fonctionnement de ces systèmes est vérifié par les radiologues à chaque prise de poste. Ces vérifications sont consignées par écrit.

I-29. Tous les systèmes de sûreté font l'objet d'une maintenance annuelle effectuée par un prestataire de services et leur résultat est consigné.

Annexe II

VUE D'ENSEMBLE DES SOURCES ET DES APPAREILS DE RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE

II-1. Une grande variété d'appareils permettant de réaliser des travaux de radiographie industrielle sont disponibles dans le commerce. Parmi ceux-ci, certains sont destinés à la gammagraphie et à la radiographie X. On trouvera ici une synthèse des caractéristiques générales de ces équipements.

SOURCES ET APPAREILS DE GAMMAGRAPHIE

Sources

II-2. L'iridium-192 est le radionucléide le plus couramment utilisé en radiographie industrielle. D'autres radionucléides sont également mis en œuvre en fonction des caractéristiques de l'objet à analyser. Les sources sont propres au gammagraphe et sont constituées d'une capsule, d'une tige ou d'un fil scellé. Le tableau II-1 recense les radionucléides les plus couramment utilisés et leurs caractéristiques.

II-3. Les sources scellées se trouvent à l'intérieur d'un gammagraphe adapté à la source, au porte-source ou à l'assemblage contenant la source et compatible avec celui-ci.

TABLEAU II-1. RADIONUCLÉIDES LES PLUS COURAMMENT
UTILISÉS EN RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE ET CARACTÉRISTIQUES
ASSOCIÉES

Radionucléide	Énergie	Débit de dose à 1 m (en mSv.h ⁻¹ pour 37 GBq)	Période	Épaisseur d'acier pour laquelle il est généralement utilisé (en mm)
Co-60	1,17 and 1,33 MeV	13,0	5,3 ans	50-120
Ir-192	206-612 keV	4,8	74 j	12-70
Se-75	97-401 keV	2,03	120 j	8-30
Yb-169	63-308 keV	1,25	32 j	4-20
Tm-170	51-84 keV	0,25	128 j	2,5-12,5

Types de projecteurs et d'appareils

Classification générale des projecteurs

II-4. Les projecteurs sont classés en fonction de leur mobilité. Les projecteurs de classe P et de classe M sont respectivement portatifs et mobiles tandis que ceux de classe F sont fixes :

- 1) *Classe P* : Projecteurs portatifs conçus pour pouvoir être portés par une ou plusieurs personnes. La masse d'un projecteur de classe P est au plus égale à 50 kg.
- 2) *Classe M* : Projecteurs mobiles non portatifs conçus pour pouvoir être déplacés facilement par un moyen adapté fourni à cette fin, par exemple un chariot ou un diable.
- 3) *Classe F* : Projecteurs fixes et installés ou de mobilité réduite aux limites d'un lieu de travail défini, par exemple une enceinte blindée.

II-5. Les projecteurs des trois classes sont généralement mis en œuvre en exposant la source de l'une des deux manières décrites ci-après.

Projecteurs sans éjection

II-6. Dans ce type d'appareil, la source reste en permanence à l'intérieur du projecteur. Le radiologue effectue un tir soit en découvrant une partie du blindage (l'« obturateur »), soit en déplaçant (par rotation, par exemple) un élément interne auquel la source est fixée. En général, l'angle solide du faisceau de rayonnement ne dépasse pas 60° et une collimation supplémentaire peut être effectuée pour réduire davantage cet angle. La source est mise en œuvre soit directement au moyen d'une poignée située sur le projecteur, soit à distance.

Projecteurs avec éjection

II-7. Dans ce type d'appareil, un assemblage de source mobile est éjecté du projecteur le long d'une gaine d'éjection à l'aide d'un câble de télécommande. L'extrémité de la gaine est placée dans un collimateur afin de mettre la source à la position souhaitée et de limiter la taille du faisceau au minimum nécessaire pour la tâche à effectuer.

II-8. Les projecteurs dits « sigmoïdes » permettent au radiologue d'utiliser ce système et de mettre en œuvre la source à une distance suffisante pour la sûreté. Ce type d'appareil offre un degré de protection plus élevé que les projecteurs sans

éjection. Pour les sources de haute activité, il est indispensable d'utiliser des projecteurs avec éjection afin que les doses reçues par les radiologues soient aussi basses que raisonnablement possible.

II-9. Certains projecteurs avec éjection se servent de l'air comprimé et non d'un câble de télécommande pour mettre la source en position de tir. En général, ce type d'appareil n'est utilisé qu'à l'intérieur d'une enceinte blindée spécialement conçue pour les accueillir. Les systèmes qui se servent de la pression de l'air ou de la gravité pour ramener la source en position de protection peuvent ne pas être sûrs en cas de défaillance et certains organismes de réglementation n'autorisent pas leur utilisation.

II-10. Les autres types d'appareils de radiographie spécialisés sont notamment les dispositifs d'inspection interne des canalisations et les appareils utilisés en radiographie sous-marine.

Appareils de radiographie sous-marine

II-11. Pour les radiographies sous-marines, les projecteurs sont équipés de caractéristiques de sûreté supplémentaires, notamment :

- a) Une profondeur d'utilisation, qui correspond à la profondeur maximale à laquelle l'appareil peut être utilisé de manière sûre.
- b) Des joints qui empêchent les gaz ou l'eau de pénétrer dans les parties de l'équipement qui ne sont pas conçues pour y résister. Les appareils conçus pour supporter l'eau et les gaz sont équipés de joints qui permettent à l'eau et aux gaz de s'échapper lors de la remontée à la surface.
- c) Un mécanisme qui permet de manipuler l'appareil de manière sûre lorsque le plongeur se trouve à l'extérieur de la zone contrôlée.

Dispositifs d'inspection interne des canalisations (« crawlers »)

II-12. Les *crawlers* sont utilisés pour radiographier des soudures sur des canalisations. Ces appareils comportent une source gamma ou un ensemble radiogène fixé sur un véhicule qui rampe à l'intérieur de la canalisation. Ils sont alimentés par des batteries contenues dans le véhicule, par un moteur à combustion interne ou par des câbles tirés depuis un générateur. Le radiologue met en marche ou pilote le *crawler* depuis l'extérieur de la conduite à l'aide d'une source de pilotage. Celle-ci est en principe constituée d'une source scellée de ¹³⁷Cs de faible activité fixée à l'intérieur d'un appareil portatif et munie d'un

collimateur. Le rayonnement émis par cette source est capté par un détecteur contenu dans le *crawler*.

II-13. En général, la source de pilotage est déplacée le long du tuyau à l'extérieur pour indiquer au *crawler* de se déplacer dans le sens souhaité, direct ou inverse. Cette source est posée sur la canalisation pour arrêter le *crawler* et le faire attendre. Le tir commence automatiquement environ 10 secondes après que la source de pilotage a été retirée de la surface de la conduite. Certains *crawlers X* sont équipés d'une source de faible activité afin de pouvoir déterminer la position de l'appareil à l'intérieur de la conduite.

II-14. La source de radiographie reste dans l'appareil pendant le tir à l'intérieur de la canalisation. La plupart des *crawlers* sont sûrs en cas de défaillance de sorte que, si l'alimentation est coupée, la source est automatiquement protégée.

II-15. En général, ces appareils ne respectent pas toutes les prescriptions de la norme ISO 3999 [II-1]. Les organismes exploitants devront s'assurer que toutes les précautions de sûreté supplémentaires nécessaires sont prises afin qu'ils soient utilisés de manière sûre.

RÉFÉRENCE DE L'ANNEXE II

[II-1] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Radioprotection — Appareils pour radiographie gamma industrielle — Spécifications de performance, de conception et d'essais, ISO 3999:2004(F), ISO, Genève (2004).

Annexe III

EXEMPLES D'ACCIDENTS EN RADIOGRAPHIE INDUSTRIELLE

III-1. Depuis que la radiographie industrielle existe, des accidents au cours desquels des travailleurs et des personnes du public ont reçu des doses élevées se sont produits. Les personnes exposées ont été gravement blessées, ce qui a parfois imposé de les amputer et même, dans certains cas, a entraîné leur mort. De nombreux autres accidents n'ont pas provoqué de blessures graves mais auraient pu le faire ou ont donné lieu à des expositions aux rayonnements inutiles.

III-2. Un rapport de sûreté de l'AIEA [III-1] présente un aperçu de plusieurs accidents liés à des sources de radiographie industrielle, accidents qui ont été signalés par des organismes de réglementation, des associations professionnelles et des revues scientifiques. Ce rapport expose les scénarios des accidents survenus en radiographie industrielle, indique leurs causes principales et les enseignements à en tirer et contient des suggestions pour les personnes et les autorités responsables de la protection et de la sûreté en radiographie industrielle. On trouvera ci-après une description de quelques accidents afin d'illustrer les dangers associés aux sources utilisées en radiographie industrielle lorsque cette activité n'est pas exercée de manière satisfaisante.

NON-BRANCHEMENT D'UN SYSTÈME DE SÛRETÉ

III-3. Un générateur de rayons X a été remplacé. Lors de cette opération, le verrouillage installé sur la porte de l'enceinte a été débranché et n'a jamais été rebranché par la suite. Un an plus tard, un radiologue a allumé l'appareil pour qu'il puisse chauffer avant de réaliser un premier tir. Il a ensuite pénétré dans l'enceinte de radiographie afin de placer son film et d'effectuer les derniers réglages liés à la position de l'objet à radiographier. Cette tâche nécessitait de localiser le centre du faisceau avec un fil à plomb que le radiologue tenait avec son pouce droit au niveau de la fenêtre de sortie de l'appareil. À l'intérieur de l'enceinte, aucune alarme ne permettait de savoir que l'appareil était en marche.

III-4. Le radiologue s'est rendu compte qu'il avait été irradié lorsqu'il est revenu au pupitre pour démarrer le tir et qu'il a découvert que le faisceau était déjà émis. On estime que son pouce droit s'est trouvé dans le faisceau au niveau de l'ouverture de l'appareil pendant environ cinq secondes, ce qui correspond à une dose estimée de 3,4 sieverts pour le pouce et de 29 millisieverts pour le corps

entier. L'irradiation du pouce du radiologue a entraîné un érythème (brûlures par irradiation) et des boursouflures.

Événement initiateur

III-5. Le rebranchement du système de verrouillage n'a pas été vérifié lors de la mise en service du nouveau générateur de rayons X.

Facteurs contributifs et prévention

III-6. Il convient de mettre en place des procédures afin de s'assurer que tous les systèmes de sûreté sont opérationnels après une réparation ou un remplacement. Le radiologue n'avait pas effectué la vérification quotidienne du système de verrouillage avant d'utiliser l'enceinte. Cette vérification aurait permis au radiologue de se rendre compte que ce système ne fonctionnait pas. L'utilisation d'un radiamètre lors des tâches préparatoires aurait permis de mesurer les niveaux de rayonnement et d'empêcher l'irradiation. Enfin, le radiologue avait ignoré le signal d'avertissement du pupitre de commande.

DÉSACTIVATION DES ALARMES DE SÛRETÉ

III-7. Lors de la réalisation de radiographies dans une enceinte blindée, un radiologue a décidé de maintenir la porte de l'enceinte ouverte afin de laisser circuler l'air à l'intérieur pendant qu'il changeait les films et préparait le tir suivant. Lorsqu'il a agi ainsi pour la première fois, il a mis l'alarme « porte ouverte » en position « arrêt ». Cette action a également désactivé l'alarme de radioactivité de l'enceinte.

III-8. Lors d'un tir ultérieur, le radiologue n'a pas ramené la source de ^{60}Co d'une activité de 3 000 gigabecquerels (81 curies) utilisée en position de protection. Il a pénétré dans l'enceinte sans radiamètre alors que l'alarme de radioactivité était désactivée. Il ne portait pas de dosimètre individuel. Un salarié de la production qui travaillait avec ce radiologue a également pénétré dans l'enceinte, il ne portait pas non plus de dosimètre individuel.

III-9. Le radiologue a changé les films, réglé le collimateur de la source et quitté l'enceinte en même temps que le coordonnateur de la production. Lorsqu'il a voulu mettre la source en position de tir, il s'est rendu compte qu'elle n'était pas revenue en position de protection à la suite du précédent tir et que le salarié de la production et lui-même avaient été irradiés.

III-10. Une reconstitution de l'incident a montré que le radiologue a reçu une dose aux yeux estimée à environ 90 millisieverts et une dose aux parties de la main avec lesquelles il a réglé le collimateur de la source supérieure à 42,5 sieverts. Le salarié de la production a reçu une dose aux yeux estimée à 40 millisieverts.

Événement initiateur

III-11. Le verrouillage et l'alarme de radioactivité associés à l'enceinte ont été délibérément désactivés.

Facteurs contributifs et prévention

III-12. Le système d'alarme doit être conçu de telle sorte que la neutralisation de l'alarme de la porte n'entraîne pas une désactivation de l'alarme de radioactivité. Les procédures opérationnelles qui consistent à vérifier que la source est revenue en position de protection et que tous les dosimètres adéquats sont portés n'ont pas été respectées. Si les personnes concernées avaient porté un détecteur d'alarme, le radiologue aurait été averti que les niveaux de rayonnement étaient élevés. La nature de l'intervention du salarié de la production montre le manque de culture de sûreté au sein de l'organisme exploitant.

RÉACTION INADAPTÉE LORS DU DYSFONCTIONNEMENT D'UN ÉQUIPEMENT

III-13. En 1994, un radiologue travaillait de nuit avec un gammagraphe contenant de l'¹⁹²Ir d'une activité de 780 gigabecquerels (21 curies) et avait du mal à le fermer à clef. Il a vu que la valeur mesurée par son dosimètre actif était hors échelle mais, comme son radiamètre ne fonctionnait pas bien, il ne détectait aucun rayonnement. Il a frappé sur le mécanisme de verrouillage avec un marteau pour le mettre en position fermée puis a laissé le gammagraphe sur le site sans surveillance pour retourner au local chercher un autre radiamètre.

III-14. Ce radiologue est ensuite revenu sur le site mais a découvert qu'il avait toujours le même problème avec le mécanisme de verrouillage. La valeur mesurée par son dosimètre actif était toujours hors échelle et le deuxième radiamètre ne fonctionnait pas non plus correctement. Lorsqu'il est à nouveau retourné au local chercher un autre radiamètre, il a laissé par inadvertance son dosimètre thermoluminescent individuel sur place et a donc continué à travailler sur le site sans lui. Le dosimètre a fait apparaître une dose de 8,5 millisieverts,

laquelle a probablement été reçue pendant que le radiologue manipulait au départ incorrectement le mécanisme de verrouillage du gammagraphe.

Événement initiateur

III-15. Difficultés à fermer à clef le gammagraphe.

Facteurs contributifs et prévention

III-16. Le radiologue n'a pas respecté les procédures opérationnelles de sûreté lorsque l'équipement n'a pas fonctionné correctement. Plus précisément, il :

- a essayé de réparer le gammagraphe avec des méthodes non autorisées ;
- n'a pas vérifié le fonctionnement du radiamètre fourni ;
- n'a pas tenu compte de la mesure hors échelle affichée par son dosimètre ;
- a laissé le gammagraphe sans surveillance sur le site du client ;
- ne portait pas de dosimètre individuel.

Si le radiologue avait suivi l'une quelconque de ces prescriptions, il aurait pu réduire son exposition au minimum.

IRRADIATION À L'INTÉRIEUR D'UNE CANALISATION

III-17. Un radiologue disposait d'une autorisation pour effectuer des travaux de radiographie X sur une canalisation dans une station de compression de gaz. Une barrière faisait clairement apparaître les limites de la zone contrôlée et des signaux d'avertissement préalables au tir et indiquant qu'un tir allait commencer ont été émis avant que les travaux ne débutent.

III-18. Plusieurs tirs avaient déjà été effectués et le tube à rayons X était encore sous tension lorsque le radiologue a vu deux hommes sortir de la canalisation. L'enquête a montré qu'ils disposaient eux aussi d'une autorisation de travail, qu'ils avaient inspecté la canalisation de l'intérieur et que, lors de cette tâche, ils s'étaient trouvés deux fois dans le champ du faisceau de rayons X.

III-19. La reconstitution de l'incident a révélé que chacun des contrôleurs avait reçu une dose estimée à 0,2 millisieverts.

Événement initiateur

III-20. L'événement est dû à un manque de coordination entre les travaux effectués sur le site.

Facteurs contributifs et prévention

III-21. Le radiologue n'a pas contrôlé la zone en permanence comme cela est prescrit, ce qui a entraîné l'exposition des deux personnes. Il doit obtenir l'entière coopération et toutes les informations nécessaires du directeur du site avant de démarrer les travaux, afin de pouvoir exercer un contrôle permanent durant toutes les opérations de radiographie. Les dispositifs nécessaires (barrières et signaux d'avertissement) aux points d'accès de la zone contrôlée n'ont pas été correctement déployés.

DÉCÈS DUS À UNE SUREXPOSITION

III-22. En 1984, un accident radiologique mortel s'est produit lorsque huit personnes du public sont mortes des conséquences d'une surexposition liée à une source de radiographie. Une source d'¹⁹²Ir d'une activité de 1 100 gigabecquerels (30 curies) s'est détachée du câble de télécommande et n'est pas revenue à sa place dans le projecteur.

III-23. Ultérieurement, la gaine d'éjection a été débranchée du projecteur et la source est ensuite tombée sur le sol. Un passant a pris le petit cylindre en métal et l'a emporté chez lui. Le symbole de la radioactivité (trèfle) figurait sur le projecteur mais la source, elle, ne comportait aucune indication.

III-24. La source a disparu entre mars et juin 1984 et huit personnes au total, dont la personne qui l'a emportée chez elle, des membres de sa famille et d'autres parents, sont morts. Une hémorragie pulmonaire a été diagnostiquée. À l'origine, on a pensé que leur mort était due à un empoisonnement. Ce n'est qu'après le dernier décès que l'on a soupçonné qu'elle pouvait avoir été provoquée par des rayonnements.

Événement initiateur

III-25. L'assemblage contenant la source s'est détaché du câble de télécommande, est tombé au sol et est resté sur le site d'intervention.

Facteurs contributifs et prévention

III-26. Aucune mesure radiologique n'a été réalisée pour vérifier que la source était complètement revenue en position de protection. Si de telles mesures avaient été effectuées, le problème aurait été détecté et l'accident aurait pu être évité. De plus, le passant qui a pris la source n'a pas pris conscience du danger sanitaire qu'elle représentait. Les conséquences de l'incident auraient pu être atténuées si la source avait porté une étiquette d'avertissement.

DÉFAILLANCE DU VERROU D'UN GAMMAGRAPHE À LA SUITE D'UN ENTRETIEN DÉFECTUEUX

III-27. Lors d'un événement de radiographie, le mécanisme de verrouillage d'un gammagraphe s'est détaché du projecteur. Cela a permis à la source d'¹⁹²Ir d'une activité de 3 600 gigabecquerels (98 curies) de sortir du projecteur. L'incident s'est produit après minuit, à un moment où deux radiologues effectuaient des travaux de radiographie sous une faible luminosité.

III-28. Les films ont été emportés pour être développés et l'un des radiologues a retiré son dosifilm et l'a posé sur son bloc-notes, pensant que les travaux étaient terminés. Cependant, plusieurs tirs devaient être effectués à nouveau et, pour ceux-ci, il oublia de remettre son dosifilm.

III-29. Afin de déplacer le gammagraphe entre le premier et le deuxième emplacement, le radiologue a pris le câble de télécommande dans la main gauche et a soulevé le projecteur avec sa main droite. Il a fait quelques pas, puis le câble est tombé du projecteur et a heurté le sol. Il a mis le projecteur sur le hayon d'un camion en pensant que la source s'était également détachée. Il a ensuite ramassé le câble de télécommande à environ un mètre de l'extrémité et a déplacé rapidement sa main jusqu'à l'extrémité du connecteur. Il a saisi ce qu'il pensait être le connecteur du câble et l'a approché à 15 centimètres de son visage. Quand il s'est rendu compte qu'il s'agissait en réalité de la source, il l'a laissé tomber, a alerté l'autre radiologue et a quitté la zone en courant.

III-30. La reconstitution de l'événement et les calculs d'exposition aux rayonnements ont montré que le radiologue avait reçu des doses à l'organisme entier et au cristallin estimées à six millisieverts. Dans le cas le plus défavorable, ses doigts ont reçu une dose estimée à 19 sieverts.

III-31. La partie fixe du dispositif de verrouillage contenu dans le projecteur utilisé est maintenue par deux goupilles. L'une d'elles manquait, peut-être depuis un certain temps, et l'autre était dans le projecteur mais pas à l'intérieur de cette partie fixe. En raison de l'absence des deux goupilles, la partie fixe, le ressort et la partie mobile ont pu sortir du dispositif de verrouillage. Le câble de télécommande a été raccordé au porte-source. Cependant, lorsque la partie fixe du dispositif de verrouillage s'est désolidarisée du reste, le câble de télécommande a entraîné le porte-source en dehors du projecteur, ce qui a mis au jour la source.

Événement initiateur

III-32. Les goupilles qui maintiennent la partie fixe du dispositif de verrouillage faisaient défaut.

Facteurs contributifs et prévention

III-33. Le radiologue a supposé que la source s'était détachée. Il n'a pas vérifié si tel était bien le cas en utilisant un radiamètre. Si le programme d'inspection et de maintenance avait été satisfaisant, le fait qu'une goupille manquait aurait été détecté et elle aurait été remplacée. Les inspections quotidiennes auraient pu permettre de se rendre compte que la partie fixe du dispositif de verrouillage était desserrée avant d'effectuer des radiographies. En outre, le fait de retirer un dosifilm avant la fin de travaux de radiographie et la non-utilisation de radiamètres constituent une violation des prescriptions réglementaires et dénotent un manque de culture de sûreté.

UNE MAINTENANCE INSUFFISANTE ENTRAÎNE UNE SUREXPOSITION

III-34. Un radiologue et son assistant travaillaient avec une source d'¹⁹²Ir d'une activité de 3 000 gigabecquerels (80 curies). Une fois les tirs achevés, l'assistant a démonté l'appareil, l'a rangé dans le camion et est revenu au siège de l'entreprise. À l'arrivée, il a sorti le gammagraphe du camion et l'a emporté à l'installation d'entreposage. En plaçant l'appareil sur une étagère, il l'a incliné et l'assemblage contenant la source est tombé sur le sol. L'alarme de radioactivité présente dans l'installation d'entreposage l'a alerté et la source a été ultérieurement récupérée et protégée de manière sûre.

Événement initiateur

III-35. L'enquête a montré que le gammagraphe n'avait pas été correctement entretenu. Le verrou à ressort conçu pour maintenir complètement la source en position de protection ne fonctionnait pas : il était resté bloqué en position déverrouillée à cause de l'accumulation de saleté. De plus, le radiologue n'avait pas fermé l'obturateur ni mis la housse de protection sur l'avant du projecteur. Ce concours de circonstances a entraîné la chute de la source sur le sol.

Facteurs contributifs et prévention

III-36. Le verrou était bloqué en position déverrouillée à cause de l'accumulation de saleté. Outre le manque d'entretien, qui a entraîné la défaillance du verrou, des prescriptions de sûreté secondaires n'ont pas été respectées. L'obturateur n'avait pas été fermé et la housse de protection n'avait pas été mise sur l'avant du projecteur. Si l'une de ces opérations avait été effectuée, la source n'aurait pas pu tomber du gammagraphe.

RÉFÉRENCE DE L'ANNEXE III

[III-1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7, IAEA, Vienna (1998).

PERSONNES AYANT COLLABORÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN

Einav, I.	Agence internationale de l'énergie atomique
Friedrich, V.	Agence internationale de l'énergie atomique
Hudson, A.P.	Consultant privé, Royaume-Uni
Irwin, R.	Commission canadienne de sûreté nucléaire, Canada
Jankovitch, J.	Commission de la réglementation nucléaire, États-Unis d'Amérique
Paynter, R.A.	Agence de protection de la santé, Royaume-Uni
Roughan, C.	QSA Global Inc., États-Unis d'Amérique
Sonsbeek, R. Van	Groupe Applus RTD, Pays-Bas
Wheatley, J.S.	Agence internationale de l'énergie atomique

ORGANES D'APPROBATION DES NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA

Les membres correspondants sont signalés par un astérisque. Ils reçoivent les projets à commenter et le reste de la documentation, mais n'assistent généralement pas aux réunions. Les suppléants sont signalés par deux astérisques.

Commission des normes de sûreté

Afrique du Sud : Magugumela, M.T. ; Allemagne : Majer, D. ; Argentine : González, A.J. ; Australie : Loy, J. ; Belgique : Samain, J.-P. ; Brésil : Vinhas, L.A. ; Canada : Jammal, R. ; Chine : Liu Hua ; Égypte : Barakat, M. ; Espagne : Barceló Vernet, J. ; États-Unis d'Amérique : Virgilio, M. ; Fédération de Russie : Adamchik, S. ; Finlande : Laaksonen, J. ; France : Lacoste, A.-C. (Président) ; Inde : Sharma, S.K. ; Israël : Levanon, I. ; Japon : Fukushima, A. ; Lituanie : Maksimovas, G. ; Pakistan : Rahman, M.S. ; République de Corée : Choul-Ho Yun ; Royaume-Uni : Weightman, M. ; Suède : Larsson, C.M. ; Ukraine : Mykolaichuk, O. ; Viet Nam : Le-chi Dung ; Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire : Yoshimura, U. ; AIEA : Delattre, D. (Coordonnateur) ; Commission européenne : Faross, P. ; Commission internationale de protection radiologique : Holm, L.-E. ; Groupe consultatif sur la sécurité nucléaire : Hashmi, J.A. ; Groupe international pour la sûreté nucléaire : Meserve, R. ; Présidents des comités des normes de sûreté : Brach, E.W. (TRANSSC) ; Magnusson, S. (RASSC) ; Pather, T. (WASSC) ; Vaughan, G.J. (NUSSC).

Comité des normes de sûreté nucléaire

*Afrique du Sud : Leotwane, W. ; Algérie : Merrouche, D. ; Allemagne : Wassilew, C. ; Argentine : Waldman, R. ; Australie : Le Cann, G. ; Autriche : Sholly, S. ; Belgique : De Boeck, B. ; Brésil : Gromann, A. ; *Bulgarie : Gledachev, Y. ; Canada : Rzentkowski, G. ; Chine : Jingxi Li ; *Chypre : Demetriades, P. ; Croatie : Valčić, I. ; Égypte : Ibrahim, M. ; Espagne : Zarzuela, J. ; États-Unis d'Amérique : Mayfield, M. ; Fédération de Russie : Baranaev, Y. ; Finlande : Järvinen, M.-L. ; France : Feron, F. ; Ghana : Emi-Reynolds, G. ; *Grèce : Camarinopoulos, L. ; Hongrie : Adorján, F. ; Inde : Vaze, K. ; Indonésie : Antariksawan, A. ; Iran (République islamique d') : Asgharizadeh, F. ; Israël : Hirshfeld, H. ; Italie : Bava, G. ; Jamahiriya arabe libyenne : Abuzid, O. ;*

Japon : Kanda, T. ; *Lituanie* : Demčenko, M. ; *Malaisie* : Azlina Mohammed Jais ; *Maroc* : Soufi, I. ; *Mexique* : Carrera, A. ; *Pakistan* : Habib, M.A. ; *Pays-Bas* : van der Wiel, L. ; *Pologne* : Jurkowski, M. ; *République de Corée* : Hyun-Koon Kim ; *République tchèque* : Šváb, M. ; *Roumanie* : Biro, L. ; *Royaume-Uni* : Vaughan, G.J. (Président) ; *Slovaquie* : Uhrik, P. ; *Slovénie* : Vojnovič, D. ; *Suède* : Hallman, A. ; *Suisse* : Flury, P. ; *Tunisie* : Baccouche, S. ; *Turquie* : Bezdegumeli, U. ; *Ukraine* : Shumkova, N. ; *Uruguay* : Nader, A. ; *Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire* : Reig, J. ; *AIEA* : Feige, G. (Coordonnateur) ; **Association nucléaire mondiale* : Borysova, I. ; *Commission électrotechnique internationale* : Bouard, J.-P. ; *Commission européenne* : Vigne, S. ; *FORATOM* : Fourest, B. ; *Organisation internationale de normalisation* : Sevestre, B..

Comité des normes de sûreté radiologique

Afrique du Sud : Olivier, J.H.I. ; **Algérie* : Chelbani, S. ; *Allemagne* : Helming, M. ; *Argentine* : Massera, G. ; *Australie* : Melbourne, A. ; **Autriche* : Karg, V. ; *Belgique* : van Bladel, L. ; *Brésil* : Rodriguez Rochedo, E.R. ; **Bulgarie* : Katsarska, L. ; *Canada* : Clement, C. ; *Chine* : Huating Yang ; **Chypre* : Demetriades, P. ; *Croatie* : Kralik, I. ; **Cuba* : Betancourt Hernandez, L. ; *Danemark* : Øhlenschläger, M. ; *Égypte* : Hassib, G.M. ; *Espagne* : Amor Calvo, I. ; *Estonie* : Lust, M. ; *États-Unis d'Amérique* : Lewis, R. ; *Fédération de Russie* : Savkin, M. ; *Finlande* : Markkanen, M. ; *France* : Godet, J.-L. ; *Ghana* : Amoako, J. ; **Grèce* : Kamenopoulou, V. ; *Hongrie* : Koblinger, L. ; *Inde* : Sharma, D.N. ; *Indonésie* : Widodo, S. ; *Iran, (République islamique d')* : Kardan, M.R. ; *Irlande* : Colgan, T. ; *Islande* : Magnusson, S. (Président) ; *Israël* : Koch, J. ; *Italie* : Bologna, L. ; *Jamahiriya arabe libyenne* : Busitta, M. ; *Japon* : Kiryu, Y. ; **Lettonie* : Salmins, A. ; *Lituanie* : Mastauskas, A. ; *Malaisie* : Hamrah, M.A. ; *Maroc* : Tazi, S. ; *Mexique* : Delgado Guardado, J. ; *Norvège* : Saxebol, G. ; *Pakistan* : Ali, M. ; *Paraguay* : Romero de Gonzalez, V. ; *Pays-Bas* : Zuur, C. ; *Philippines* : Valdezco, E. ; *Pologne* : Merta, A. ; *Portugal* : Dias de Oliveira, A.M. ; *République de Corée* : Byung-Soo Lee ; *République tchèque* : Petrova, K. ; *Roumanie* : Rodna, A. ; *Royaume-Uni* : Robinson, I. ; *Slovaquie* : Jurina, V. ; *Slovénie* : Sutej, T. ; *Suède* : Almen, A. ; *Suisse* : Piller, G. ; **Thaïlande* : Suntarapai, P. ; *Tunisie* : Chékir, Z. ; *Turquie* : Okyar, H.B. ; *Ukraine* : Pavlenko, T. ; **Uruguay* : Nader, A. ; *AIEA* : Boal, T. (Coordonnateur) ; *Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire* : Lazo, T.E. ; *Association internationale de producteurs et de fournisseurs de sources* : Fasten, W. ; *Association nucléaire mondiale* : Saint-Pierre, S. *Bureau*

international du Travail : Niu, S. ; *Commission européenne* : Janssens, A. ; *Commission internationale de protection radiologique* : Valentin, J. ; *Commission électrotechnique internationale* : Thompson, I. ; *Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants* : Crick, M. ; *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture* : Byron, D. ; *Organisation internationale de normalisation* : Rannou, A. ; *Organisation mondiale de la Santé* : Carr, Z. ; *Organisation panaméricaine de la santé* : Jiménez, P.

Comité des normes de sûreté du transport

Afrique du Sud : Hinrichsen, P. ; *Allemagne* : Rein, H. ; *Nitsche, F. ; **Alter, U. ; ; *Argentine* : López Vietri, J. ; **Capadona, N.M. ; *Australie* : Sarkar, S. ; *Autriche* : Kirchnawy, F. ; *Belgique* : Cottens, E. ; *Brésil* : Xavier, A.M. ; *Bulgarie* : Bakalova, A. ; *Canada* : Régimbald, A. ; *Chine* : Xiaoqing Li ; *Chypre : Demetriades, P. ; *Croatie* : Belamarić, N. ; *Cuba : Quevedo Garcia, J.R. ; *Danemark* : Breddam, K. ; *Égypte* : El-Shinawy, R.M.K. ; *Espagne* : Zamora Martin, F. ; *États-Unis d'Amérique* : Boyle, R.W. ; Brach, E.W. (Président) ; *Fédération de Russie* : Buchelnikov, A.E. ; *Finlande* : Lahkola, A. ; *France* : Landier, D. ; *Ghana* : Emi-Reynolds, G. ; *Grèce : Vogiatzi, S. ; *Hongrie* : Sáfár, J. ; *Inde* : Agarwal, S.P. ; *Indonésie* : Wisnubroto, D. ; *Iran (République islamique d')* : Eshraghi, A. ; *Emamjomeh, A. ; *Irlande* : Duffy, J. ; *Israël* : Koch, J. ; *Italie* : Trivelloni, S. ; **Orsini, A. ; *Jamahiriya arabe libyenne* : Kekli, A.T. ; *Japon* : Hanaki, I. ; *Lituanie* : Statkus, V. ; *Malaisie* : Sobari, M.P.M. ; **Husain, Z.A. ; *Maroc : Allach, A. ; *Mexique* : Bautista Arteaga, D.M. ; **Delgado Guardado, J.L. ; *Norvège* : Hornkjøl, S. ; *Nouvelle-Zélande : Ardouin, C. ; *Pakistan* : Rashid, M. ; *Paraguay : More Torres, L.E. ; *Pays-Bas* : Ter Morshuizen, M. ; *Pologne* : Dziubiak, T. ; *Portugal* : Buxo da Trindade, R. ; *République de Corée* : Dae-Hyung Cho ; *République tchèque* : Ducháček, V. ; *Royaume-Uni* : Sallit, G. ; *Suède* : Häggblom, E. ; **Svahn, B. ; *Suisse* : Krietsch, T. ; *Thaïlande* : Jerachanchai, S. ; *Turquie* : Ertürk, K. ; *Ukraine* : Lopatin, S. ; *Uruguay* : Nader, A. ; *Cabral, W. ; *AIEA* : Stewart, J.T. (Coordonnateur) ; *Association du transport aérien international* : Brennan, D. ; *Association internationale de producteurs et de fournisseurs de sources* : Miller, J.J. ; **Roughan, K. ; *Association nucléaire mondiale* : Gorlin, S. ; *Commission économique des Nations Unies pour l'Europe* : Kervella, O. ; *Commission européenne* : Binet, J. ; *Fédération internationale des associations de pilotes de ligne* : Tisdall, A. ; **Gessl, M. ; *Institut mondial des transports nucléaires* : Green, L. ; *Organisation de l'aviation civile internationale* : Rooney, K. ; *Organisation internationale de*

normalisation : Malesys, P. ; *Organisation maritime internationale* : Rahim, I. ;
Union postale universelle : Bowers, D.G.

Comité des normes de sûreté des déchets

Afrique du Sud : Pather, T. (Président) ; *Algérie* : Abdenacer, G. ; *Allemagne* : Götz, C. ; *Argentine* : Biaggio, A. ; *Australie* : Williams, G. ; **Autriche* : Fischer, H. ; *Belgique* : Blommaert, W. ; *Brésil* : Tostes, M. ; **Bulgarie* : Simeonov, G. ; *Canada* : Howard, D. ; *Chine* : Zhimin Qu ; *Chypre* : Demetriades, P. ; *Croatie* : Trifunovic, D. ; *Cuba* : Fernandez, A. ; *Danemark* : Nielsen, C. ; *Égypte* : Mohamed, Y. ; *Espagne* : Sanz Aludan, M. ; *Estonie* : Lust, M. ; *États-Unis d'Amérique* : Camper, L. ; *Finlande* : Hutri, K. ; *France* : Rieu, J. ; *Ghana* : Faanu, A. ; *Grèce* : Tzika, F. ; *Hongrie* : Czoch, I. ; *Inde* : Rana, D. ; *Indonésie* : Wisnubroto, D. ; *Iran (République islamique d')* : Assadi, M. ; **Zarghami, R.* ; *Iraq* : Abbas, H. ; *Israël* : Dody, A. ; *Italie* : Dionisi, M. ; *Jamahiriya arabe libyenne* : Elfawares, A. ; *Japon* : Matsuo, H. ; **Lettonie* : Salmins, A. ; *Lituanie* : Paulikas, V. ; *Malaisie* : Sudin, M. ; **Maroc* : Barkouch, R. ; *Mexique* : Aguirre Gómez, J. ; *Pakistan* : Mannan, A. ; **Paraguay* : Idoyaga Navarro, M. ; *Pays-Bas* : van der Shaaf, M. ; *Pologne* : Wlodarski, J. ; *Portugal* : Flausino de Paiva, M. ; *République de Corée* : Won-Jae Park ; *République tchèque* : Lietava, P. ; *Royaume-Uni* : Chandler, S. ; *Slovaquie* : Homola, J. ; *Slovénie* : Mele, I. ; *Suède* : Frise, L. ; *Suisse* : Wanner, H. ; **Thaïlande* : Supaokit, P. ; *Tunisie* : Bousselmi, M. ; *Turquie* : Özdemir, T. ; *Ukraine* : Makarovska, O. ; **Uruguay* : Nader, A. ; *Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire* : Riotte, H. ; *AIEA* : Siraky, G. (Coordonnateur) ; *Association internationale de producteurs et de fournisseurs de sources* : Fasten, W. ; *Association nucléaire mondiale* : Saint-Pierre, S. ; *Commission européenne* : Necheva, C. ; *Normes de sûreté des installations nucléaires européennes* : Lorenz, B. ; **Normes de sûreté des installations nucléaires européennes* : Zaiss, W. ; *Organisation internationale de normalisation* : Hutson, G.



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

N° 22

Lieux de vente des publications de l'AIEA

Dans les pays suivants, vous pouvez vous procurer les publications de l'AIEA chez nos dépositaires ci-dessous ou auprès de grandes librairies. Le paiement peut être effectué en monnaie locale ou avec des coupons Unesco.

ALLEMAGNE

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10, 53113 Bonn
Téléphone : + 49 228 94 90 20 • Télécopie : +49 228 94 90 20 ou +49 228 94 90 222
Courriel : bestellung@uno-verlag.de • Site web : <http://www.uno-verlag.de>

AUSTRALIE

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132
Téléphone : +61 3 9210 7777 • Télécopie : +61 3 9210 7788
Courriel : service@dadirect.com.au • Site web : <http://www.dadirect.com.au>

BELGIQUE

Jean de Lannoy, 202 avenue du Roi, 1190 Bruxelles
Téléphone : +32 2 538 43 08 • Télécopie : +32 2 538 08 41
Courriel : jean.de.lannoy@infoboard.be • Site web : <http://www.jean-de-lannoy.be>

CANADA

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, États-Unis d'Amérique
Téléphone : 1-800-865-3457 • Télécopie : 1-800-865-3450
Courriel : customercare@bernan.com • Site web : <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3
Téléphone : +613 745 2665 • Télécopie : +613 745 7660
Courriel : order.dept@renoufbooks.com • Site web : <http://www.renoufbooks.com>

CHINE

Publications de l'AIEA en chinois : China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

CORÉE, RÉPUBLIQUE DE

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seoul 137-130
Téléphone : +02 589 1740 • Télécopie : +02 589 1746 • Site web : <http://www.kins.re.kr>

ESPAGNE

Díaz de Santos, S.A., c/Juan Bravo, 3A, 28006 Madrid
Téléphone : +34 91 781 94 80 • Télécopie : +34 91 575 55 63
Courriel : compras@diazdesantos.es, carmela@diazdesantos.es, barcelona@diazdesantos.es, julio@diazdesantos.es •
Site web : <http://www.diazdesantos.es>

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4346
Téléphone : 1-800-865-3457 • Télécopie : 1-800-865-3450
Courriel : customercare@bernan.com • Site web : <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669
Téléphone : +888 551 7470 (n° vert) • Télécopie : +888 568 8546 (n° vert)
Courriel : order.dept@renoufbooks.com • Site web : <http://www.renoufbooks.com>

FINLANDE

Akateeminen Kirjakauppa, PO BOX 128 (Keskuskatu 1), 00101 Helsinki
Téléphone : +358 9 121 41 • Télécopie : +358 9 121 4450
Courriel : akatilaus@akateeminen.com • Site web : <http://www.akateeminen.com>

FRANCE

Form-Edit, 5 rue Janssen, B.P. 25, 75921 Paris Cedex 19
Téléphone : +33 1 42 01 49 49 • Télécopie : +33 1 42 01 90 90
Courriel : formedit@formedit.fr • Site web : <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex
Téléphone : + 33 1 47 40 67 02 • Télécopie : +33 1 47 40 67 02
Courriel : romuald.verrier@lavoisier.fr • Site web : <http://www.lavoisier.fr>

HONGRIE

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, 1656 Budapest
Téléphone : +36 1 257 7777 • Télécopie : +36 1 257 7472 • Courriel : books@librotrade.hu

INDE

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001
Téléphone : +91 22 22617926/27 • Télécopie : +91 22 22617928
Courriel : alliedpl@vsnl.com • Site web : <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009
Téléphone : +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Télécopie : +91 11 23281315
Courriel : bookwell@vsnl.net

ITALIE

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio « AEIOU », Via Coronelli 6, 20146 Milan
Téléphone : +39 02 48 95 45 52 ou 48 95 45 62 • Télécopie : +39 02 48 95 45 48
Courriel : info@libreriaaeiou.eu • Site web : www.libreriaaeiou.eu

JAPON

Maruzen Company Ltd, 1-9-18, Kaigan, Minato-ku, Tokyo, 105-0022
Téléphone : +81 3 6367 6079 • Télécopie : +81 3 6367 6207
Courriel : journal@maruzen.co.jp • Site web : <http://www.maruzen.co.jp>

NOUVELLE-ZÉLANDE

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, Mitcham Victoria 3132, Australie
Téléphone : +61 3 9210 7777 • Télécopie : +61 3 9210 7788
Courriel : service@dadirect.com.au • Site web : <http://www.dadirect.com.au>

ORGANISATION DES NATIONS UNIES

Dépt. I004, Bureau DC2-0853, First Avenue at 46th Street, New York, N.Y. 10017, États-Unis d'Amérique (ONU)
Téléphone : +800 253-9646 ou +212 963-8302 • Télécopie : +212 963-3489
Courriel : publications@un.org • Site web : <http://www.un.org>

PAYS-BAS

De Lindeboom Internationale Publicaties B.V., M.A. de Ruyterstraat 20A, 7482 BZ Haaksbergen
Téléphone : +31 (0) 53 5740004 • Télécopie : +31 (0) 53 5729296
Courriel : books@delindeboom.com • Site web : <http://www.delindeboom.com>

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer
Téléphone : +31 793 684 400 • Télécopie : +31 793 615 698
Courriel : info@nijhoff.nl • Site web : <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse
Téléphone : +31 252 435 111 • Télécopie : +31 252 415 888
Courriel : infoho@swets.nl • Site web : <http://www.swets.nl>

RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

Suweco CZ, S.R.O., Klecakova 347, 180 21 Prague 9
Téléphone : +420 26603 5364 • Télécopie : +420 28482 1646
Courriel : nakup@suweco.cz • Site web : <http://www.suweco.cz>

ROYAUME-UNI

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, P.O. Box 29, Norwich, NR3 1 GN
Téléphone (commandes) : +44 870 600 5552 • (demandes de renseignements) : +44 207 873 8372 •
Télécopie : +44 207 873 8203
Courriel (commandes) : book.orders@tso.co.uk • (demandes de renseignements) : book.enquiries@tso.co.uk •
Site web : <http://www.tso.co.uk>

Commandes en ligne

DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ
Courriel : info@profbooks.com • Site web : <http://www.profbooks.com>

Ouvrages sur l'environnement

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP
Téléphone : +44 1438748111 • Télécopie : +44 1438748844
Courriel : orders@earthprint.com • Site web : <http://www.earthprint.com>

SLOVÉNIE

Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, 1512 Ljubljana
Téléphone : +386 1 432 31 44 • Télécopie : +386 1 230 14 35
Courriel : import.books@cankarjeva-z.si • Site web : <http://www.cankarjeva-z.si/uvoz>

Les commandes et demandes d'information peuvent aussi être adressées directement à :

Unité de la promotion et de la vente, Agence internationale de l'énergie atomique

Centre international de Vienne, B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)
Téléphone : +43 1 2600 22529 (ou 22530) • Télécopie : +43 1 2600 29302
Courriel : sales.publications@iaea.org • Site web : <http://www.iaea.org/books>

Des normes internationales pour la sûreté

« Les gouvernements, les organismes de réglementation et les exploitants doivent veiller à ce que les matières nucléaires et les sources de rayonnements soient partout utilisées de manière bénéfique, sûre et éthique. Les normes de sûreté de l'AIEA sont conçues pour faciliter cet objectif, et j'encourage tous les États Membres à les utiliser. »

Yukiya Amano
Directeur général

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE

ISBN 978-92-0-236610-7

ISSN 1020-5829