

Collection sécurité nucléaire de l'AIEA N° 5

Orientations techniques
Manuel de référence

Identification des sources et des dispositifs radioactifs



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

IDENTIFICATION DES SOURCES
ET DES DISPOSITIFS
RADIOACTIFS

MANUEL DE RÉFÉRENCE

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

AFGHANISTAN	GUATEMALA	OUGANDA
AFRIQUE DU SUD	HAÏTI	OUZBÉKISTAN
ALBANIE	HONDURAS	PAKISTAN
ALGÉRIE	HONGRIE	PALAOS
ALLEMAGNE	ÎLES MARSHALL	PANAMA
ANGOLA	INDE	PARAGUAY
ARABIE SAOUDITE	INDONÉSIE	PAYS-BAS
ARGENTINE	IRAN, RÉP. ISLAMIQUE D'	PÉROU
ARMÉNIE	IRAQ	PHILIPPINES
AUSTRALIE	IRLANDE	POLOGNE
AUTRICHE	ISLANDE	PORTUGAL
AZERBAÏDJAN	ISRAËL	QATAR
BANGLADESH	ITALIE	RÉPUBLIQUE ARABE
BÉLARUS	JAMAHIRIYA ARABE	SYRIENNE
BELGIQUE	LIBYENNE	RÉPUBLIQUE
BELIZE	JAMAÏQUE	CENTRAFRICAINE
BÉNIN	JAPON	RÉPUBLIQUE
BOLIVIE	JORDANIE	DÉMOCRATIQUE
BOSNIE-HERZÉGOVINE	KAZAKHSTAN	DU CONGO
BOTSWANA	KENYA	RÉPUBLIQUE DE MOLDOVA
BRÉSIL	KIRGHIZISTAN	RÉPUBLIQUE DOMINICAINE
BULGARIE	KOWEÏT	RÉPUBLIQUE TCHÈQUE
BURKINA FASO	LETTONIE	RÉPUBLIQUE-UNIE DE
CAMEROUN	L'EX-RÉPUBLIQUE YOUNGO-	TANZANIE
CANADA	SLAVE DE MACÉDOINE	ROUMANIE
CHILI	LIBAN	ROYAUME-UNI
CHINE	LIBÉRIA	DE GRANDE-BRETAGNE
CHYPRE	LIECHTENSTEIN	ET D'IRLANDE DU NORD
COLOMBIE	LITUANIE	SAINT-SIÈGE
CORÉE, RÉPUBLIQUE DE	LUXEMBOURG	SÉNÉGAL
COSTA RICA	MADAGASCAR	SERBIE
CÔTE D'IVOIRE	MALAISIE	SEYCHELLES
CROATIE	MALAWI	SIERRA LEONE
CUBA	MALI	SINGAPOUR
DANEMARK	MALTE	SLOVAQUIE
ÉGYPTE	MAROC	SLOVÉNIE
EL SALVADOR	MAURICE	SOUDAN
ÉMIRATS ARABES UNIS	MAURITANIE	SRI LANKA
ÉQUATEUR	MEXIQUE	SUÈDE
ÉRYTHRÉE	MONACO	SUISSE
ESPAGNE	MONGOLIE	TADJIKISTAN
ESTONIE	MONTÉNÉGRO	TCHAD
ÉTATS-UNIS	MOZAMBIQUE	THAÏLANDE
D'AMÉRIQUE	MYANMAR	TUNISIE
ÉTHIOPIE	NAMIBIE	TURQUIE
FÉDÉRATION DE RUSSIE	NÉPAL	UKRAINE
FINLANDE	NICARAGUA	URUGUAY
FRANCE	NIGER	VENEZUELA
GABON	NIGERIA	VIETNAM
GÉORGIE	NORVÈGE	YÉMEN
GHANA	NOUVELLE-ZÉLANDE	ZAMBIE
GRÈCE	OMAN	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
SÉCURITÉ NUCLÉAIRE DE L'AIEA N° 5

IDENTIFICATION DES SOURCES
ET DES DISPOSITIFS
RADIOACTIFS

MANUEL DE RÉFÉRENCE

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE, 2009

DROIT D'AUTEUR

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

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

© AIEA, 2009

Imprimé par l'AIEA en Autriche
Mai 2009

**IDENTIFICATION DES SOURCES
ET DES DISPOSITIFS RADIOACTIFS**

AIEA, VIENNE, 2009
STI/PUB/1278
ISBN 978-92-205009-9
ISSN 1816-9317

AVANT-PROPOS

Comme suite à une résolution prise en septembre 2002 par sa Conférence générale, l'AIEA a adopté une approche intégrée en matière de protection contre le terrorisme nucléaire afin de coordonner ses activités concernant la protection physique des matières et installations nucléaires, la comptabilité des matières nucléaires, la détection et la répression du trafic de matières nucléaires et de sources radioactives, la sécurité des sources radioactives, la sécurité du transport de ces matières et de ces sources, les interventions en cas d'urgence et leur planification dans les États Membres et à l'AIEA, et la promotion de l'adhésion des États aux instruments internationaux pertinents. L'AIEA aide également à recenser les menaces qui pèsent sur la sécurité des matières nucléaires et des sources radioactives ainsi que la vulnérabilité à ces menaces. Cependant, c'est aux États qu'il incombe d'assurer la protection physique de ces matières et de ces sources ainsi que des installations connexes, de veiller à leur sécurité lors de leur transport et de combattre le trafic et les mouvements intempestifs dont elles peuvent faire l'objet.

Au début de l'ère nucléaire, les rayonnements dont on avait besoin pour la recherche et les applications provenaient de matières radioactives à l'état naturel. Du radium et des mélanges de radium et de béryllium confinés dans des capsules permettant de les manipuler de façon sûre étaient utilisés comme sources de rayons gamma et de neutrons. Ces sources avaient de nombreuses applications et leur utilisation a connu un essor rapide. Les procédures de contrôle se sont progressivement améliorées, mais la protection physique est restée insuffisante et les informations fournies au sujet des stocks étaient irrégulières et incomplètes. Le développement ultérieur des réacteurs nucléaires s'est traduit par l'apparition de sources plus puissantes, une plus grande diversité de sources et d'applications et une augmentation générale de leur utilisation.

Cette utilisation accrue a malheureusement donné lieu à des accidents dont certains ont fait des morts et des blessés. Cette évolution et notamment un accident particulièrement grave survenu en 1987 ont conduit l'AIEA à lancer un programme ayant pour objet de fournir des informations et, dans le cas des sources de radium, une assistance directe concernant le contrôle et le conditionnement des sources.

Depuis 1999, l'AIEA met en œuvre un Plan d'action pour la sûreté et la sécurité des sources radioactives dans le cadre duquel a été adopté un code de conduite (Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives) visant à renforcer la sûreté d'exploitation et le contrôle des sources radioactives utilisées à des fins légitimes et à éviter que ces sources ne soient détournées à des fins malveillantes. L'AIEA aide ses États Membres à

appliquer ce code et à développer la Base de données sur le trafic illicite (ITDB), à assurer la gestion du cycle de vie des sources radioactives, à promouvoir des pratiques de travail sûres et à renforcer la sécurité de ces sources lors de leur utilisation, de leur transport et de leur stockage.

Pour faire en sorte que les progrès se poursuivent, l'AIEA a mis en place un mécanisme d'assistance directe afin d'aider les États Membres à récupérer et conditionner les sources et à en assurer la gestion ultérieure. Des équipes d'experts dûment formés et équipés ont organisé la récupération et le conditionnement de plusieurs milliers de sources.

Un problème particulièrement préoccupant qui est souligné dans le Plan d'action est celui des sources orphelines, c'est-à-dire les sources qui n'ont jamais fait l'objet d'un contrôle réglementaire depuis leur livraison initiale ou qui ont été abandonnées, volées ou égarées. Malheureusement, on pense qu'un grand nombre de sources médicales ou de stérilisation de grande taille se trouvent dans cette situation.

L'AIEA joue également un rôle important dans la préparation et la réponse aux situations d'urgence. La Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire et la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique lui imposent des obligations juridiques concrètes en la matière. Dans le cadre de ces deux conventions, le Centre des incidents et des urgences de l'AIEA coordonne les activités des experts internationaux et les efforts déployés au sein de l'organisation. Il aide également à coordonner les interventions des États Membres ainsi que celles d'autres organisations internationales telles que l'OMS, la FAO et l'OMM en cas d'incident ou de situation d'urgence nucléaire ou radiologique.

À la demande des pays, l'AIEA envoie des équipes d'experts pour aider à mettre en oeuvre des stratégies nationales ou fournir des conseils et une assistance concernant les sources qui ne sont plus utilisées. Ces équipes aident les organismes nationaux de gestion des déchets et de réglementation à récupérer les sources, à les conditionner et à faire le nécessaire pour garantir leur sûreté et leur sécurité conformément aux normes internationales. Dans le cadre du Plan d'action contre le terrorisme nucléaire qu'elle a adopté en 2002, l'AIEA a mis en place, pour faire en sorte que les sources radioactives non surveillées soient soumises à un contrôle réglementaire et fassent l'objet d'une gestion appropriée, un programme visant à aider les États Membres à identifier, localiser, récupérer, conditionner et entreposer ces sources de façon sûre et en toute sécurité, ou à assurer leur stockage définitif lorsque cela est possible. Ces efforts, qui ont commencé au milieu des années 1990, ainsi que les discussions menées avec les autorités nationales et les organisations internationales, ont montré la

nécessité d'un instrument pour faciliter l'identification des sources et des dispositifs orphelins et inconnus.

Comme suite aux recommandations de la Conférence de l'AIEA sur la sûreté des sources de rayonnement et la sécurité des matières radioactives, tenue à Dijon en 1998, le Conseil des gouverneurs et la Conférence générale de l'AIEA ont approuvé en 1999 le Plan d'action pour la sûreté et la sécurité des sources radioactives et ont notamment demandé à l'AIEA de « constituer un ensemble de données sur les caractéristiques des sources et des dispositifs contenant des sources, y compris les conteneurs de transport, et communiquer ces informations, en considérant l'opportunité de les diffuser sur Internet ».

L'AIEA a établi un Catalogue international des sources radioactives scellées et des dispositifs connexes qui contient des renseignements descriptifs détaillés et des données techniques concernant un grand nombre de sources et de dispositifs, mais qui, étant donné sa taille, ne se prête guère à une diffusion à grande échelle sous sa version intégrale. Le Catalogue se présente sous la forme d'une base de données accessible uniquement par l'intermédiaire d'un site Web protégé par un mot de passe.

La présente publication a donc été établie dans le but de fournir, sous une forme plus maniable, un aperçu des principaux types de sources radioactives scellées et de dispositifs et de colis contenant de telles sources afin d'en faciliter l'identification par les non-spécialistes (douaniers, récupérateurs de métaux, personnel hospitalier, personnel portuaire ou aéroportuaire, policiers, pompiers, etc.) susceptibles d'en rencontrer de façon accidentelle ou dans le cadre de leur travail normal. Elle fournit également des informations essentielles sur les précautions à prendre en cas de découverte d'un objet susceptible d'être une source ou un dispositif non soumis à contrôle. L'identification rapide de ces objets dans de telles circonstances contribue à la fois à la sûreté et à la sécurité.

La présente publication est un guide de base et n'a pas pour ambition de constituer un outil de référence complet permettant d'identifier les sources et dispositifs radioactifs et leurs conteneurs de transport ni de donner des instructions détaillées concernant leur manipulation en cas d'urgence. Elle a pour objet d'aider à identifier les sources, de souligner les risques que celles-ci présentent et d'indiquer les mesures qu'il convient de prendre. Elle représente un progrès modeste mais significatif dans le cadre des efforts continus que déploie la communauté internationale pour soumettre les matières nucléaires et les sources radioactives à un contrôle renforcé, en accroître la sûreté et la sécurité et contribuer ainsi à rendre encore plus largement accessibles les avantages qu'elles procurent.

Le présent manuel a été en partie financé par le Fonds de sécurité nucléaire créé en application du Plan de sécurité nucléaire. L'AIEA remercie

chaleureusement J. Parfitt de sa contribution au travail de rédaction. Les fonctionnaires de l'AIEA responsables de l'élaboration du manuel étaient M. Al-Mughrabi et J. Neubauer, de la Division du cycle du combustible nucléaire et de la technologie des déchets.

NOTE DE L'ÉDITEUR

Le présent document ne traite pas de la question de la responsabilité, juridique ou autre, résultant d'actes ou d'omissions imputables à quiconque.

Malgré le grand soin apporté à l'exactitude des informations qui y figurent, l'AIEA et ses États Membres n'assument aucune responsabilité pour les conséquences qui pourraient résulter de son utilisation.

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

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

TABLE DES MATIÈRES

INFORMATIONS ESSENTIELLES CONCERNANT LES SOURCES ET LES DISPOSITIFS RADIOACTIFS	1
1. INTRODUCTION	5
1.1. Généralités	5
1.2. Portée et objectifs	5
1.3. Structure	7
1.4. Dangers que peuvent présenter les sources radioactives	7
2. IDENTIFICATION D'UNE SOURCE, D'UN DISPOSITIF OU D'UN COLIS DE TRANSPORT RADIOACTIFS DONT L'UTILISATION EST AUTORISÉE	9
2.1. Dispositifs	9
2.2. Sources	11
2.3. Colis de transport	12
2.4. Identification du transport et de l'utilisation de sources radioactives	14
3. MESURES À PRENDRE EN CAS DE DÉCOUVERTE D'UNE SOURCE SCELLÉE, D'UN DISPOSITIF OU D'UN COLIS DE TRANSPORT NON SOUMIS À UN CONTRÔLE	16
4. UTILISATIONS DES SOURCES RADIOACTIVES SCELLÉES ET DES DISPOSITIFS QUI EN CONTIENNENT	17
4.1. Utilisations médicales	17
4.2. Irradiation de produits à des fins non médicales	18
4.3. Systèmes de mesure	19
4.4. Contrôle non destructif à l'aide de sources radioactives	20
4.5. Analyse des matériaux	21
4.6. Utilisations diverses	22
4.7. Exemples de sources radioactives scellées et de dispositifs en contenant	23
4.8. Système de catégorisation de l'AIEA pour les sources radioactives	24

5.	EXEMPLES DE DISPOSITIFS RADIOACTIFS	29
5.1.	Installations industrielles de stérilisation	29
5.2.	Appareils de téléthérapie	30
5.3.	Irradiateurs de sang	34
5.4.	Appareils de téléthérapie multifaisceaux (scalpel gamma) ...	37
5.5.	Irradiateurs d'échantillons à petite échelle	39
5.6.	Irradiateurs de semences	41
5.7.	Générateurs thermoélectriques radioisotopiques	44
5.8.	Têtes de sonde gamma (bull plug) de diagraphie pétrolière ..	48
5.9.	Sondes neutroniques de diagraphie pétrolière	51
5.10.	Appareils de gammagraphie	55
5.11.	Dispositifs d'inspection interne des canalisations par gammagraphie (Crawler)	64
5.12.	Jauges de haute activité	67
5.13.	Jauges de densité, d'épaisseur et de niveau à rayonnement gamma de faible énergie	73
5.14.	Jauges de densité et d'épaisseur à rayonnement bêta	75
5.15.	Dispositifs de mesure de la teneur en humidité des matériaux en vrac	78
5.16.	Humidimètres/densimètres	80
5.17.	Analyseurs par fluorescence X	82
5.18.	Appareils de curiethérapie à chargement différé télécommandé	86
5.19.	Éliminateurs de charges statiques	89
5.20.	Paratonnerres radioactifs	92
5.21.	Panneaux autolumineux	94
5.22.	Détecteurs de fumée	96
6.	EXEMPLES DE SOURCES RADIOACTIVES	98
6.1.	Sources de cobalthérapie	98
6.2.	Sources gamma ^{60}Co de stérilisation	100
6.3.	Sources ^{90}Sr pour générateurs thermoélectriques radioisotopiques	102
6.4.	Sources de gammagraphie industrielle	102
6.5.	Sources à chargement différé télécommandé pour curiethérapie à haut débit de dose	104
6.6.	Sources gamma de haute énergie pour jauges industrielles ...	105
6.7.	Sources neutroniques pour jauges industrielles	108
6.8.	Sources gamma et neutroniques de diagraphie pétrolière	110

6.9. Sources de faible énergie pour jauges industrielles fixes	112
6.10. Microsources de curiethérapie à faible débit de dose	115
6.11. Plaques ophtalmiques	117
6.12. Sources gamma de faible énergie pour travaux d'analyse	118
6.13. Sources d'étalonnage et de référence	120
7. EXEMPLES DE COLIS DE TRANSPORT RADIOACTIFS	123
7.1. Colis de transport pour sources gamma de haute activité	123
7.2. Échangeurs de sources de radiographie	126
7.3. Colis de transport pour sources gamma de faible activité et de haute énergie	128
7.4. Colis à usage unique	131
APPENDICE I : LE RAYONNEMENT — NOTIONS FONDAMENTALES	135
APPENDICE II : LISTE ET DESCRIPTION SUCCINCTE DES DISPOSITIFS PRÉSENTÉS DANS LA SECTION 5	139
APPENDICE III : LISTE DES SOURCES PRÉSENTÉES DANS LA SECTION 6 AVEC RENVOIS À LEURS APPLICATIONS	142
RÉFÉRENCES	145
DÉFINITIONS	146
PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À LA RÉVISION DU TEXTE	150

INFORMATIONS ESSENTIELLES CONCERNANT LES SOURCES ET LES DISPOSITIFS RADIOACTIFS

COMMENT IDENTIFIER UNE SOURCE, UN DISPOSITIF OU UN COLIS RADIOACTIF

Un dispositif radioactif est un objet contenant une source radioactive destinée à une application donnée. Il assure la protection contre les rayonnements et permet d'utiliser pour cette application un faisceau de rayonnement contrôlé.

Un colis de transport radioactif est l'objet ou l'emballage dans lequel une ou plusieurs sources radioactives sont transportées. Il assure la protection contre les rayonnements.

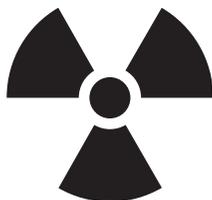
Les dispositifs et les colis de transport radioactifs contiennent généralement du plomb, du tungstène ou d'autres matériaux denses qui protègent contre les rayonnements, de sorte qu'ils sont lourds par rapport à leur taille.

Les dispositifs destinés à des applications industrielles sont très souvent de couleur vive.

De nombreux dispositifs comprennent un obturateur verrouillable qui permet d'accéder à la source qui se trouve l'intérieur ou de laisser sortir un faisceau de rayonnement.

Les colis de transport radioactifs peuvent également être des dispositifs, et ils peuvent aussi ressembler à d'autres colis industriels comprenant une caisse d'expédition en carton ou en bois pour assurer la protection contre les avaries.

Tous les dispositifs et les colis de transport contenant une source doivent être clairement signalés au moyen du symbole de la radioactivité, avec indication du type (isotope) de matière radioactive.



Les sources scellées sont habituellement des capsules cylindriques en acier inoxydable soudé qui sont dépourvues de dispositif de connexion et dont le diamètre peut aller jusqu'à 10 mm et la longueur jusqu'à 30 mm, mais certaines peuvent être beaucoup plus grandes.

Les sources radioactives devraient être marquées du symbole de la radioactivité (trèfle), ou le mot 'radioactive' devrait être gravé sur leur surface, mais il se peut que ces indications soient trop petites pour être visibles.

Une source radioactive non protégée qui est exposée à la vue peut être extrêmement dangereuse. **NE VOUS EN APPROCHEZ PAS.**

Une source est qualifiée de « dangereuse » si, lorsqu'elle n'est pas soumise à un contrôle, elle peut donner lieu à une exposition suffisante pour provoquer des effets déterministes graves sur la santé¹. Manipuler une telle source est particulièrement dangereux. L'analyse des accidents qui se sont produits dans le passé a montré que le fait de tenir dans la main ou de porter sur soi (par exemple dans une poche) une source dangereuse pendant quelques minutes seulement entraînait des effets déterministes graves sur la santé. Par conséquent, il faut s'employer à prévenir la manipulation de matières susceptibles d'être radioactives. Toutefois, le fait de rester pendant une durée limitée (quelques minutes) à proximité d'une source très dangereuse², par exemple pour sauver des vies, ne devrait pas entraîner d'effets déterministes graves sur la santé [1, 2].

INDICES DE PRÉSENCE D'UNE SOURCE DANGEREUSE

Une source dangereuse [1] peut être :

- Un conteneur pesant marqué du symbole de la radioactivité.³
- Un article avec des étiquettes signalant la présence de sources potentiellement dangereuses (blanches pour la catégorie I et jaunes pour les catégories II et III) [3].
- Un article comportant des marques ou des numéros de transport ONU (signalé comme colis de type IP, A, B, C,) [3].
- Un dispositif utilisé pour le traitement du cancer (téléthérapie ou curiethérapie).
- Un appareil ou une source de radiographie.
- Un source utilisée en diagraphie des sondages.

¹ Effet qui est mortel ou risque de l'être, ou qui entraîne une lésion irréversible (brûlures graves par exemple) diminuant la qualité de vie.

² Par exemple, une source ¹³⁷Cs non protégée de 100 TBq (3000 Ci).

³ De nombreux objets sont marqués du symbole de la radioactivité bien qu'ils ne soient pas dangereux, par exemple les humidimètres/densimètres portables, les détecteurs de fumée, les panneaux au tritium et les montres et boussoles à cadran radioluminescent.

MESURES À PRENDRE EN CAS DE DÉCOUVERTE D'UNE SOURCE, D'UN DISPOSITIF OU D'UN COLIS DE TRANSPORT RADIOACTIFS POTENTIELLEMENT DANGEREUX

En cas de découverte d'une source, d'un dispositif ou d'un colis de transport radioactifs, il convient d'observer les consignes suivantes :

- Ne pas toucher l'objet.
- Évacuer les abords immédiats et en empêcher l'accès (sécuriser le périmètre).
- Faire en sorte que la distance séparant le public de l'objet soit la plus grande possible (à titre d'indication, le débit de dose de rayonnement et le danger d'irradiation sont considérablement réduits dans la plupart des cas si l'on s'éloigne d'au moins cinq mètres).
- Notifier les autorités civiles et les services d'intervention (services de secours, police), étant entendu que les coordonnées du point de contact local devraient être facilement accessibles.

Les mesures devant être prises par les premiers intervenants sont décrites dans la référence [1].

1. INTRODUCTION

1.1. GÉNÉRALITÉS

La présente publication a pour objet d'aider les non-spécialistes et les organisations à procéder à l'identification préliminaire des sources, dispositifs ou colis de transport radioactifs qu'ils pourraient rencontrer. Elle a également pour objet d'aider à identifier les sources donnant lieu à des incidents qui sont ultérieurement signalés à la Base de données de l'AIEA sur le trafic illicite (ITDB).

Outre la présente publication, l'AIEA et les organismes gouvernementaux compétents des États Membres ont à leur disposition ou peuvent consulter une base de données internationale contenant des renseignements techniques détaillés sur la plupart des sources, dispositifs ou colis de transport radioactifs dont on sait qu'ils sont actuellement utilisés ou qu'ils l'ont été dans le passé. Il s'agit du Catalogue international de sources radioactives scellées et de dispositifs connexes (Catalogue de sources). Ce catalogue peut être consulté par l'intermédiaire de points de contact désignés au niveau national (sous la rubrique « coordonnées » dans la section 3, les personnes intéressées peuvent indiquer les coordonnées des points de contacts nationaux et fournir d'autres informations les concernant). Le Catalogue de sources n'étant pas accessible au public pour des raisons de sécurité, la présente publication a pour objet de fournir des informations et des éléments d'identification plus généraux, conformément à la démarche de l'AIEA visant à améliorer la prise en charge des accidents radiologiques ainsi que la prévention, la détection et la répression du trafic ou de l'usage malveillant de sources radioactives.

Le niveau de détail de la présente publication répond au souci de fournir aussi peu d'informations que possible à ceux qui pourraient en faire usage à des fins malveillantes.

1.2. PORTÉE ET OBJECTIFS

Les objectifs de la présente publication sont les suivants :

- Aider à reconnaître et à identifier les objets présumés être des sources, des dispositifs ou des colis de transport radioactifs.
- Indiquer ce qu'il faut faire et comment obtenir une aide complémentaire.
- Sensibiliser davantage les intéressés à la présence de tels objets.

- Faire connaître, par l'intermédiaire de coordonnateurs désignés dans les États Membres de l'AIEA, le Catalogue international de sources radioactives scellées et de dispositifs connexes (Catalogue de sources) et l'utilisation qui en est faite.
- La présente publication n'est pas censée constituer un outil de référence complet permettant d'identifier les sources radioactives et de donner des instructions détaillées concernant leur manipulation en cas d'urgence. Les organismes nationaux d'intervention en cas d'urgence et de réglementation ainsi que les autres autorités civiles savent où et comment obtenir des informations supplémentaires pour traiter de façon appropriée toute source radioactive qui a été identifiée. Ils ont aussi accès à une base de données détaillées sur les sources, dispositifs et colis de transport radioactifs qui a été constituée et est tenue à jour par l'AIEA.

Le présent manuel aura probablement deux groupes d'utilisateurs :

- Un groupe principal constitué de personnes qui, au sein d'un organisme, ont pour mission d'identifier ou de localiser des sources, dispositifs ou colis de transport radioactifs, par exemple :
 - Le personnel chargé des contrôles aux frontières ;
 - Le personnel des autorités civiles intervenant en premier en cas d'urgence comme la police, les pompiers et les services de secours ;
 - Les participants aux opérations de déclasserment d'installations industrielles et hospitalières ;
 - Les transformateurs de métaux de récupération et de déchets industriels ;
- Un groupe secondaire constitué de personnes qui, au sein d'un organisme, peuvent de façon fortuite être mises en présence d'une source, d'un dispositif ou d'un colis de transport radioactifs ayant échappé au contrôle de son « propriétaire » ou se trouvant dans un lieu inattendu. Il peut s'agir par exemple :
 - De membres d'organismes civils non spécialisés comme la police ;
 - De membres du personnel chargé de l'entretien des routes ;
 - De membres des services de secours ;
 - De récupérateurs de métaux qui n'utilisent pas de détecteur de rayonnements à l'entrée de leur site.

1.3. STRUCTURE

Le présent manuel comprend huit sections, y compris l'introduction. La section 2 indique comment reconnaître une source, un dispositif ou un colis de transport radioactifs et devrait donc en faciliter l'identification. La section 3 indique ce qu'il faut faire si l'on trouve un tel objet et fournit également des informations utiles pour déterminer si celui-ci n'est pas soumis à un contrôle approprié et les mesures qu'il y a lieu de prendre en pareil cas. Les sections 4 à 7 fournissent des informations supplémentaires qui pourraient être utiles aux lecteurs pour identifier plus facilement les sources, dispositifs et colis de transport radioactifs et se familiariser avec leurs utilisations et les risques qu'ils peuvent présenter. La section 4 décrit des utilisations classiques des sources et des dispositifs radioactifs. Les sections 5 à 7 présentent des exemples typiques de sources, de dispositifs et de colis de transport radioactifs afin de faciliter l'identification d'objets suspects.

L'appendice I fournit des informations de base sur les propriétés des rayonnements. L'appendice II contient une liste et des descriptions succinctes des dispositifs présentés dans la section 5. L'appendice III contient une liste des sources présentées dans la section 6 et des renvois à leurs applications.

1.4. DANGERS QUE PEUVENT PRÉSENTER LES SOURCES RADIOACTIVES

L'utilisation des sources radioactives peut présenter deux principaux types de dangers :

- Décès ou blessure imputable à un accident ;
- Décès ou blessure imputable à une utilisation malveillante.

Une source radioactive qui n'est pas soumise à un contrôle réglementaire, soit parce qu'elle ne l'a jamais été, soit parce qu'elle a été abandonnée, perdue, égarée, volée ou a été cédée sans que cela ait été dûment autorisé, est appelée « source orpheline ». Ces sources sont celles qui présentent le plus de risques en cas d'accident ou d'utilisation malveillante. On peut citer comme exemple le cas d'une source utilisée par le service de radiothérapie d'un hôpital qui avait été fermé par la suite. Rien n'ayant été fait pour gérer cette source de façon appropriée, celle-ci et son dispositif de protection ont été volés quelques années plus tard par des récupérateurs de métaux. Ceux-ci n'ont pas reconnu ou n'ont pas pris au sérieux les inscriptions signalant le danger et ont démonté le dispositif de protection et la source, ce qui s'est soldé par de graves



FIG. 1. Brûlure par irradiation

conséquences (contamination, blessures et maladies) non seulement pour eux-mêmes mais aussi pour les personnes avec lesquelles ils avaient été en contact.

Il s'est produit de nombreux incidents [4 à 8] à la suite desquels des personnes ont été gravement blessées ou sont décédées après avoir été exposées à de fortes doses de rayonnement de leur propre fait ou en raison de la négligence d'autres personnes (voir figure 1).

Nombre de ces incidents se sont produits parce que l'on n'a pas su reconnaître la source radioactive à son aspect ou à son marquage. Un nouveau symbole de mise en garde contre la radioactivité a été mis au point dans le but de mieux avertir du danger. On a aussi maintenant pris conscience du fait que des sources radioactives pourraient faire l'objet d'une utilisation malveillante, dont la plus probable consisterait à introduire ou abandonner une ou plusieurs sources de haute activité dans un lieu public.

Le présent manuel a pour objectif de contribuer à réduire les risques susmentionnés en donnant des indications claires pour expliquer la nature des sources radioactives et aider le personnel à identifier ces sources ainsi que les dispositifs ou les colis de transport qui en contiennent.

La section 4 donne une brève description des niveaux de danger relatifs que présentent les sources, dispositifs et colis de transport radioactifs. Une source est qualifiée de « dangereuse » si, lorsqu'elle n'est pas soumise à un contrôle, elle peut donner lieu à une exposition suffisante pour provoquer des effets déterministes graves sur la santé. Manipuler une telle source est particulièrement dangereux. L'analyse des accidents qui se sont produits dans le passé a montré que le fait de tenir dans la main ou de porter sur soi (par

exemple dans une poche) une source dangereuse pendant quelques minutes seulement entraînait des effets déterministes graves sur la santé. Par conséquent, il faut s'employer à prévenir la manipulation de matières susceptibles d'être radioactives. Toutefois, le fait de rester pendant une durée limitée (quelques minutes) à proximité d'une source très dangereuse, par exemple pour sauver des vies, ne devrait pas entraîner d'effets déterministes graves sur la santé [1].

Les propriétés des rayonnements sont expliquées plus en détail dans l'appendice I.

2. IDENTIFICATION D'UNE SOURCE, D'UN DISPOSITIF OU D'UN COLIS DE TRANSPORT RADIOACTIFS DONT L'UTILISATION EST AUTORISÉE

Les sources, dispositifs et colis de transport radioactifs peuvent présenter un aspect très différent qui dépend de l'application spécifique pour laquelle ils peuvent être utilisés. On trouvera dans la section 4 de plus amples informations à leur sujet.

Les marques d'identification constituent le principal moyen de reconnaître une source, un dispositif ou un colis de transport radioactifs. On trouvera dans les sections qui suivent une brève description de ces sources, dispositifs et colis ainsi que de leurs marques.

2.1. DISPOSITIFS

On appelle « dispositif » la machine, l'instrument ou le conteneur blindé dans lesquels une source radioactive est placée pendant son utilisation.

Les dispositifs peuvent présenter un aspect très différent en fonction de la quantité, du type et de l'énergie du rayonnement émis par la source radioactive placée à l'intérieur ainsi que des applications spécifiques auxquelles ils sont destinés.

En général, la plupart des dispositifs contiennent des sources qui émettent des rayons gamma contre lesquels les métaux denses tels que le plomb, le tungstène ou l'uranium appauvri, constituent la protection la plus efficace. Par conséquent, de nombreux dispositifs peuvent se reconnaître au fait qu'ils sont lourds par rapport à leur volume [9].

Certains dispositifs comme les appareils de radiographie ou les humidimètres/densimètres utilisés sur les chantiers routiers peuvent être des modèles portables, mais le chargement de la source peut également être effectué dans une installation spécialisée, le dispositif étant ensuite acheminé jusqu'à son lieu d'utilisation permanent. Il est donc tout à fait légitime qu'un dispositif soit utilisé pour transporter une source, à condition que son utilisateur y ait été autorisé et que les étiquettes voulues y aient été apposées. Dans ce cas, ces étiquettes devraient correspondre à la fois au système d'étiquetage des colis de transport décrit ci-après et à celui exigé pour un tel dispositif. De nombreux dispositifs utilisés pour transporter une source comprennent un suremballage ou sont placés dans une caisse d'expédition afin de les protéger contre d'éventuelles avaries ou intrusions en cours de transit. Exception faite des étiquettes de transport [3], ils peuvent avoir l'aspect de colis industriels standard.

On peut citer comme exemples de dispositifs « portables » :

- Les appareils de gammagraphie ;
- les humidimètres/densimètres utilisés pour la construction de routes et d'ouvrages de génie civil ;
- les détecteurs à fluorescence X utilisés pour la caractérisation des matériaux.

On peut citer comme exemples de dispositifs utilisés comme colis de transport pour acheminer une source radioactive jusqu'à son lieu d'utilisation les jauges de densité et d'épaisseur à rayonnement gamma et bêta, les têtes de téléthérapie, les irradiateurs de sang et les détecteurs de fumée.

On trouvera dans la section 5 des dessins ou des photographies de tous ces dispositifs.

Étiquetage d'un dispositif

Les dispositifs contenant des sources radioactives devraient être clairement étiquetés. Étant donné leur taille, les étiquettes sont relativement faciles à lire et permettent de dissuader les intrusions. La teneur exacte des inscriptions figurant sur les étiquettes varie en fonction de la réglementation locale mais devrait toujours comprendre le symbole de la radioactivité (trèfle), l'indication du nucléide et du numéro atomique et, normalement, le mot « radioactive ». Si possible, le trèfle doit être de couleur noire ou rouge sur fond jaune (voir figure 2).

En plus de ceux reproduits dans la figure 2, on est en train d'adopter un nouveau symbole qui sera généralement apposé sous l'enveloppe extérieure



FIG. 2. Exemples du symbole de la radioactivité.



FIG. 3. Nouveau symbole de mise en garde destiné à décourager l'accès à une source radioactive.

des dispositifs afin d'adresser au personnel non autorisé un avertissement supplémentaire pour le dissuader d'accéder à la source située à l'intérieur (voir figure 3).

2.2. SOURCES

La plupart des sources se présentent sous la forme de capsules cylindriques de différentes dimensions. Elles sont normalement en acier inoxydable qui, à l'usage, peut perdre son aspect brillant ou noircir, en particulier lorsqu'il s'agit de sources de très haute activité.

D'une manière générale, tout objet non protégé dont on pense qu'il peut s'agir d'une source radioactive scellée est potentiellement dangereux et aucune personne non formée ne devrait s'en approcher sans matériel approprié de radioprotection et de détection des rayonnements.

La plupart des sources radioactives sont relativement petites, et il est très difficile de lire les marques qui y sont apposées sans s'en approcher à une distance si faible que l'on risque de subir des radiolésions.

Il faut absolument éviter :

- d'essayer de lire les marques si l'on ne dispose pas de connaissances ou d'équipements spécialisés ;
- d'essayer de toucher une source radioactive.

Il convient de noter que la taille d'une source n'est pas une indication de son degré de dangerosité.

Des photographies de sources sont reproduites dans la section 6.

Marquage d'une source

Toutes les sources scellées (sauf si elles sont trop petites) sont marquées du symbole de la radioactivité (trèfle) ou de l'inscription « radioactive », ou des deux. Le nucléide et le numéro atomique, l'emblème du fabricant et un numéro de série peuvent également y figurer, de même que l'activité (quantité de matière radioactive ou puissance de la source) et la date de fabrication (voir figure 4).

2.3. COLIS DE TRANSPORT

Comme les dispositifs, les colis de transport peuvent avoir une taille, un poids et un aspect très différents en fonction de l'activité, du type et de l'énergie des sources radioactives qu'ils contiennent.

Les colis peuvent être aussi bien des conteneurs en acier d'un poids supérieur à 5 tonnes comprenant des ailettes de refroidissement et un blindage en plomb ou en uranium appauvri (pour le transport des sources gamma de très



CS-137
Radioactivo
Amersham
1234



Cs-137 radiactivo
de 185GBq
Amersham
1234

FIG. 4. Exemples de symboles de la radioactivité.

haute activité) que de petites boîtes en carton jetables (pour le transport des sources de faible activité).

Des exemples illustrant la grande variété des colis de transport en usage sont fournis dans la section 7.

Étiquetage d'un colis de transport

L'étiquetage des colis de transport est généralement conforme aux règles internationales présentées dans le Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA [3]. Ces règles s'appliquent également aux dispositifs lorsque ceux-ci sont utilisés pour transporter des sources radioactives.

Tous les colis contenant des sources radioactives, sauf si la quantité de matière radioactive est très faible (par exemple dans le cas des détecteurs de fumée ou des quantités exemptées), doivent être clairement signalés au moyen de l'un des modèles d'étiquettes présentés dans la figure 5, ceci étant un minimum.

L'étiquette est choisie en fonction à la fois du débit de dose de rayonnement maximum à la surface du colis et du débit de dose de rayonnement maximum à une distance d'un mètre de cette surface. La catégorie 1 correspond aux débits de dose les plus faibles et la catégorie 3 aux débits de dose les plus élevés.

La protection assurée par les colis pouvant être différente, ces catégories ne renseignent pas sur la quantité de matières radioactives, le type de rayonnement ou le danger que présentent ces matières. Cependant, le nucléide, le numéro de masse et l'activité doivent être mentionnés sur les étiquettes. Celles-ci doivent être placées sur deux côtés opposés du colis. (Les « catégories » utilisées dans le contexte de l'étiquetage des colis ne doivent pas être confondues avec le système utilisé par l'AIEA pour classer les sources radioactives en fonction de leur dangerosité, dans le cadre duquel la catégorie 1 correspond aux sources qui sont potentiellement les plus dangereuses et la catégorie 5 à celles qui présentent le moins de risques. On trouvera dans la section 4.8 davantage de précisions concernant la catégorisation des sources du point de vue de l'exposition.)

Un colis doit également avoir un « numéro ONU » et une désignation officielle de transport, par exemple « UN2916, matières radioactives en colis de type B(U) ».

Un colis en cours d'expédition doit également être accompagné d'une déclaration de l'expéditeur indiquant que ce colis est conforme aux normes internationales applicables. Cette déclaration doit indiquer le nom de l'expéditeur et être signée par lui.



FIG. 5. Exemples d'étiquettes exigées pour les colis contenant des sources radioactives.

Tout colis radioactif en transit qui ne satisfait pas aux exigences minimum ci-dessus ne correspond peut-être pas à une expédition légitime, et il faudrait donc se demander s'il est autorisé ou soumis à un contrôle.

2.4. IDENTIFICATION DU TRANSPORT ET DE L'UTILISATION DE SOURCES RADIOACTIVES

Des milliers de sources et de dispositifs radioactifs sont utilisés dans le monde entier aux fins des applications énumérées à la section 4, notamment dans l'industrie, les hôpitaux, le génie civil et la prospection pétrolière, et sont acheminés chaque année jusqu'à leur lieu d'utilisation. Il est important que ces

opérations ne soient pas interrompues. Par conséquent, les informations fournies dans le présent manuel doivent être utilisées avec précaution, et il ne convient de ne notifier les autorités civiles que si l'on a de bonnes raisons de croire qu'une source radioactive est utilisée ou transportée en dehors de tout contrôle ou qu'un objet que l'on pense être une source, un dispositif ou un colis de transport radioactifs ne fait pas l'objet d'un tel contrôle.

On peut considérer qu'une source, un dispositif ou un colis de transport radioactifs sont « soumis à un contrôle » lorsqu'ils sont utilisés aux fins auxquelles ils sont destinés et que leur propriétaire peut être identifié. Si ces critères ne sont pas remplis, on peut considérer qu'ils ne sont pas soumis à un contrôle.

L'utilisation et le transport des sources, des dispositifs et des colis de transport radioactifs sont réglementés par les autorités nationales afin de protéger la santé et la sûreté publiques.

Les sections 5, 6 et 7 décrivent les situations dans lesquelles on peut s'attendre à rencontrer des dispositifs, des sources scellées et des colis de transport.

Si un dispositif, une source radioactive scellée ou un colis de transport suspect n'entre pas dans les catégories correspondant à une utilisation, à un entreposage ou à un transport contrôlés décrits dans les sections 5, 6 et 7 et si aucun propriétaire autorisé ne peut être identifié, il convient de prendre les mesures indiquées plus loin.

On peut considérer que l'on est en présence d'une utilisation non contrôlée par exemple dans les situations ci-après :

- Lorsqu'une source non protégée n'est pas placée dans un dispositif ou un colis de transport ;
- Lorsqu'un dispositif n'est pas sur son lieu d'utilisation ou dans son emplacement d'entreposage autorisé ou est en transit sans autorisation ;
- Lorsqu'une source ou un dispositif se trouve à l'abandon.

Si l'on soupçonne qu'un dispositif, une source scellée ou un colis de transport se trouve dans une situation non autorisée ou non contrôlée ou est transporté en dehors de tout contrôle, il convient de prendre les mesures décrites dans la section 3.

3. MESURES À PRENDRE EN CAS DE DÉCOUVERTE D'UNE SOURCE SCELLÉE, D'UN DISPOSITIF OU D'UN COLIS DE TRANSPORT NON SOUMIS À UN CONTRÔLE

- 1) En cas de découverte d'une source, d'un dispositif ou d'un colis de transport radioactifs, il convient d'observer les consignes suivantes :
 - Ne pas toucher l'objet.
 - Évacuer les abords immédiats et en empêcher l'accès (sécuriser le périmètre).
 - Faire en sorte que la distance séparant le public de l'objet soit la plus grande possible (à titre d'indication, le débit de dose de rayonnement et le danger d'irradiation sont considérablement réduits dans la plupart des cas si l'on s'éloigne d'au moins cinq mètres).
 - Notifier les autorités civiles et les services d'intervention (services de secours, police), étant entendu que les coordonnées du point de contact local devraient être facilement accessibles.

Pour plus de détails sur les mesures concrètes à prendre, voir la référence [1].

- 2) Appliquer toute procédure ou tout protocole spécialement prévu pour une telle éventualité et notifier les autorités civiles, en tenant compte des considérations suivantes :
 - Seules des personnes formées et équipées de matériel approprié de détection des rayonnements devraient s'approcher de l'objet suspect.
 - Dès le début de l'intervention, les premiers intervenants devraient agir sur les lieux d'une urgence conformément à des plans d'urgence préétablis [1].

4. UTILISATIONS DES SOURCES RADIOACTIVES SCELLÉES ET DES DISPOSITIFS QUI EN CONTIENNENT

Les propriétés des rayonnements sont utilisées pour des applications très différentes, mais dans tous les cas, la matière radioactive est confinée dans la source scellée et le dispositif permet d'utiliser le rayonnement de façon contrôlée.

On peut distinguer six domaines dans lesquels des sources et des dispositifs radioactifs sont utilisés :

- Utilisations médicales ;
- Irradiation de produits à des fins non médicales ;
- Dispositifs de mesure ;
- Dispositifs d'imagerie (radiographie) ;
- Analyse des matériaux ;
- Utilisations diverses.

4.1. UTILISATIONS MÉDICALES

Des sources et des dispositifs radioactifs sont utilisés en médecine pour le traitement du cancer et l'irradiation du sang.

En cancérothérapie, la tumeur est irradiée soit par un faisceau externe qui pénètre dans le corps jusqu'au site cancéreux (téléthérapie), soit au moyen d'une source de rayonnement implantée de façon temporaire ou permanente à l'intérieur ou à proximité de la tumeur (curiethérapie). L'irradiation a pour effet de tuer les cellules cancéreuses et donc d'éliminer ou d'amoindrir la tumeur.

Le sang peut également être traité par irradiation avant d'être transfusé afin d'empêcher la prolifération des lymphocytes, ce qui réduit le risque de problèmes ultérieurs liés au système immunitaire du patient.

Il est donc normal que des dispositifs radioactifs utilisés à des fins médicales soient présents dans :

- Les services de cancérothérapie des hôpitaux ;
- Les services de transfusion sanguine et de conservation du sang des hôpitaux.

En outre, des radio-isotopes à courte période sont largement utilisés en médecine à des fins de diagnostic, mais ceux-ci ne présentent qu'un danger minime et n'entrent pas dans le cadre du présent manuel.

4.2. IRRADIATION DE PRODUITS À DES FINS NON MÉDICALES

Des sources et des dispositifs radioactifs sont utilisés aux fins suivantes dans le domaine du traitement des matériaux :

- Stérilisation ;
- Traitement par irradiation de matériaux pour en modifier les propriétés ;
- Traitement par irradiation de nuisibles (mouches, par exemple) pour les empêcher de se reproduire ;
- Irradiation des aliments afin d'en assurer la conservation.

S'agissant de la stérilisation, les produits à traiter (matériel médical et pansements chirurgicaux, par exemple) sont exposés à un rayonnement de haute intensité. La dose de rayonnement est soigneusement contrôlée de manière à tuer toute bactérie qui aurait pu pénétrer par accident dans l'emballage au cours du processus de fabrication. Le processus est sans effet sur le produit proprement dit.

Les matériaux peuvent être soumis à un traitement par irradiation destiné à en modifier les propriétés : par exemple, une forte dose de rayonnement peut être utilisée pour réticuler les chaînes polymères d'une matière plastique afin de renforcer celle-ci. On peut également irradier des semences afin d'obtenir leur germination précoce ou d'en accroître la résistance aux maladies.

Des sources radioactives sont aussi utilisées pour réduire les populations d'insectes nuisibles. Ainsi, la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture a travaillé pendant de nombreuses années à la mise au point de la technique de l'insecte stérile pour lutter contre la mouche tsé-tsé.

Généralement, les sources utilisées pour traiter les matériaux par irradiation émettent un rayonnement de haute énergie et de forte intensité et sont placées dans une enceinte blindée extrêmement volumineuse. Pour la stérilisation des produits médicaux, par exemple, le dispositif consiste en fait en un bâtiment comprenant une grande salle blindée par laquelle passent les produits à traiter.

On peut trouver des installations de traitement des matériaux dans :

- Des unités de stérilisation spécialisées de taille industrielle ;
- Des usines de fabrication de matériel médical ;
- Des laboratoires de recherche et des établissements d'enseignement ;
- Des établissements de recherche agricole.

4.3. SYSTÈMES DE MESURE

Des sources et des dispositifs radioactifs sont utilisés comme jauges :

- D'épaisseur ;
- De densité ;
- De niveau.

Pour mesurer l'épaisseur d'une feuille de matériau en cours de laminage, on place une source radioactive d'un côté de la feuille et un détecteur de l'autre (voir figure 6). La quantité de rayonnement transmise est proportionnelle à l'épaisseur du matériau pour autant que la densité de celui-ci soit constante. Le signal émis par la jauge d'épaisseur est réintroduit dans la chaîne de contrôle du processus en amont pour faire en sorte que l'on obtienne toujours

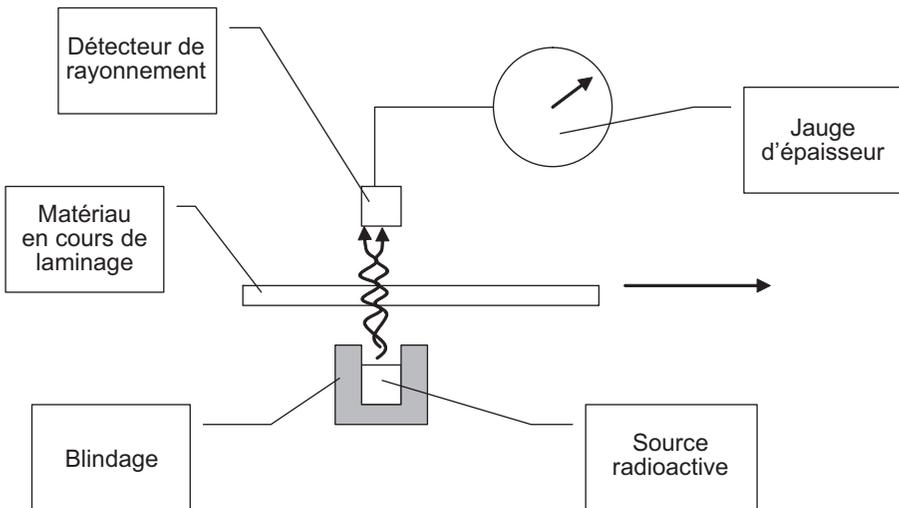


FIG. 6. Représentation schématique d'un dispositif classique de mesure de l'épaisseur par le rayonnement transmis.

l'épaisseur correcte. Il faut choisir un isotope dont l'énergie présente une très bonne adéquation avec l'épaisseur et la densité relatives de la feuille à mesurer. L'objectif est d'obtenir une atténuation optimale du rayonnement afin de fournir un signal de haute résolution au système de mesure du rayonnement [9].

De même, on peut évaluer la densité d'un matériau dont l'épaisseur est connue en mesurant la quantité de rayonnement transmise à travers ce matériau ou réfléchi par celui-ci.

On peut aussi, au moyen d'une source de rayonnement et d'un détecteur, mesurer le niveau d'un produit dans un conteneur. Un faisceau de rayonnement traverse le conteneur et, lorsque le produit dépasse le niveau du faisceau, le rayonnement transmis est atténué, ce qui constitue un signal permettant de contrôler le processus de remplissage. Les jauges de niveau sont très largement utilisées, par exemple sur les trémies à usage industriel et en conserverie.

Les jauges radioactives sont utilisées dans les activités et les installations suivantes :

- Traitement des minéraux ;
- Activités industrielles de transformation ;
- Chaînes de remplissage ;
- Systèmes à trémies et usines chimiques ;
- Fabrication des cigarettes ;
- Fabrication du papier.

4.4. CONTRÔLE NON DESTRUCTIF À L'AIDE DE SOURCES RADIOACTIVES

La gammagraphie constitue la principale application des sources et des dispositifs radioactifs en matière de contrôle non destructif (CND) par imagerie. La gammagraphie est similaire à la radiographie médicale, sauf que les images sont produites non pas au moyen d'un générateur de rayons X alimenté par une source d'électricité mais d'une source radioactive émettant des rayons gamma. On y a recours lorsqu'il est difficile d'avoir accès à une source d'électricité pour alimenter un générateur de rayons X ou lorsque le travail doit être effectué dans un espace réduit ou confiné. La source est placée dans un dispositif transportable généralement appelé « projecteur » ou « caméra » et elle est mise en position d'exposition au moyen d'un système de télémanipulation par câble. Les rayons gamma traversent la pièce à contrôler, ce qui permet de réaliser un cliché radiographique (voir figure 7). Ce système

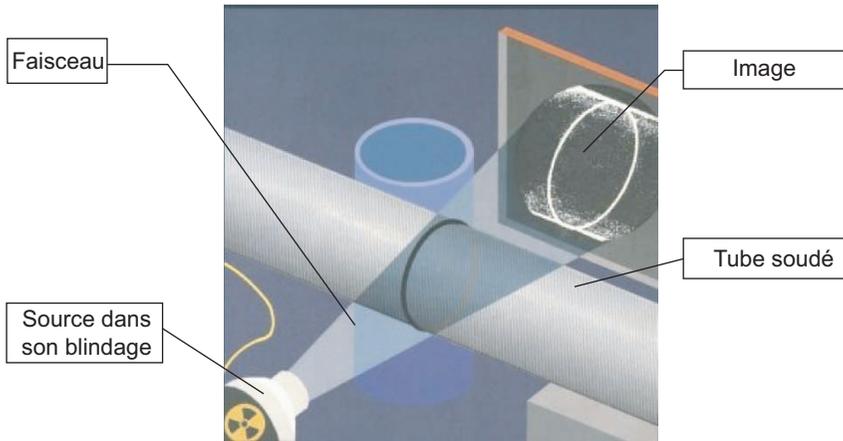


FIG. 7. Système de gammagraphie classique.

est couramment utilisé pour contrôler les soudures structurales sur des ouvrages tels que des bâtiments ou des canalisations. Des sources de ^{192}Ir , ^{75}Se et ^{60}Co sont généralement utilisées en gammagraphie. On choisit l'isotope dont l'énergie présente la meilleure adéquation avec l'épaisseur et la densité relatives du matériau à radiographier, afin d'obtenir un contraste d'image optimal [10].

Des systèmes de CND peuvent être utilisés dans le cadre des activités suivantes :

- Travaux de génie civil ;
- Soudage des canalisations ;
- Construction mécanique ;
- Opérations d'entretien dans de nombreuses installations industrielles de transformation ;
- Industrie aéronautique.

4.5. ANALYSE DES MATÉRIAUX

Des sources et des dispositifs radioactifs sont utilisés dans le contexte du traitement des matériaux pour :

- L'analyse élémentaire des matériaux ;
- La détermination de la teneur en humidité.

L'analyse par fluorescence X est un exemple de méthode d'analyse élémentaire des matériaux. Si l'on dirige des faisceaux de rayonnement gamma ayant une énergie spécifique sur un alliage métallique, ceux-ci interagissent de différentes manières avec les différents éléments constitutifs de cet alliage et un rayonnement secondaire caractéristique est émis. L'analyse du spectre du rayonnement réfléchi permet d'identifier les éléments constitutifs et de déterminer leurs proportions relatives.

Le degré d'humidité et la teneur en hydrocarbures dans des matériaux en vrac et sur des chaînes de traitement peuvent être évalués en mesurant les neutrons émis par une source de rayonnement neutronique qui sont transmis et réfléchis. Les neutrons ont la même masse que les atomes d'hydrogène et sont considérablement ralentis lorsqu'ils entrent en collision avec ces derniers. Il est possible, à partir de mesures de la quantité de neutrons ralentis dans un matériau en vrac, d'évaluer la teneur en hydrogène, et celle-ci peut être utilisée pour déterminer la teneur en eau. En prospection pétrolière, la même technique, combinée avec d'autres mesures, peut être utilisée pour évaluer la présence d'hydrocarbures dans un puits de pétrole.

Des sources radioactives peuvent être utilisées aux fins de l'analyse de matériaux dans les activités et les installations suivantes :

- Traitement des métaux de récupération ;
- Analyse du plomb dans la peinture ;
- Analyse en ligne sur les chaînes de traitement des matériaux ;
- Analyse de la pâte et la pulpe de bois dans l'industrie de transformation ;
- Établissements de recherche ;
- Génie civil et construction de routes ;
- Agriculture ;
- Laboratoires industriels ;
- Prospection et production pétrolières.

4.6. UTILISATIONS DIVERSES

Nombre d'autres applications des sources et des dispositifs radioactifs ne sont pas mentionnées dans la présente section, par exemple :

- La production d'électricité au moyen de générateurs thermoélectriques radioisotopiques ;
- Les détecteurs de fumée ;
- Les panneaux autolumineux ;
- Les lunettes de visée pour armes à feu ;

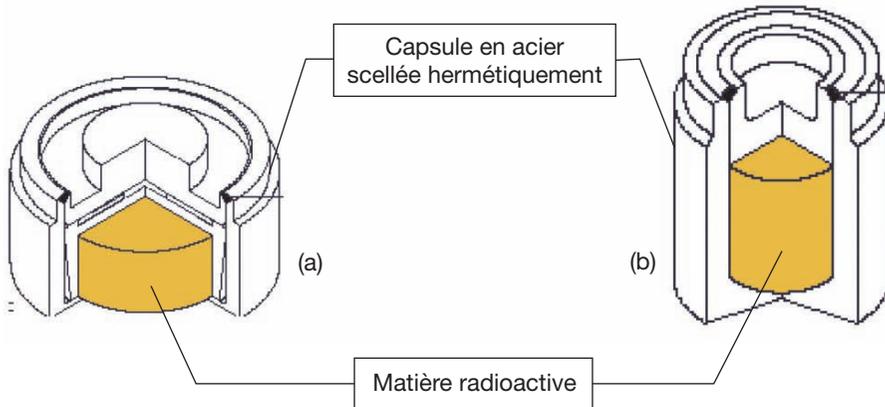


FIG. 8. Exemples typiques de sources radioactives scellées : a) source circulaire de ^{241}Am ; et (b) source cylindrique de ^{137}Cs .

- L'élimination de l'électricité statique ;
- Les paratonnerres.

Ces applications sont décrites dans les sections 5 et 6.

4.7. EXEMPLES DE SOURCES RADIOACTIVES SCÉLÉES ET DE DISPOSITIFS EN CONTENANT

La capsule primaire dans laquelle se trouve la matière radioactive est appelée source radioactive scellée, ou encore source radioactive, source de rayonnement, source scellée ou source (voir figure 8).

Des exemples représentatifs de sources radioactives scellées sont présentés dans la section 6. En général, une source scellée se présente sous la forme d'une capsule cylindrique en acier inoxydable soudée à une extrémité.

Dans la quasi-totalité des applications, les sources radioactives sont placées à l'intérieur d'un porte-source blindé qui, dans les conditions normales d'utilisation, contient également un instrument ou un mécanisme spécifique à l'application dont il s'agit ou qui est associé à un tel instrument ou mécanisme, l'ensemble étant généralement appelé « dispositif ». La nature du dispositif dépend de l'application. Dans de nombreux cas, celui-ci sert également à transporter la source scellée jusqu'à l'endroit où il est prévu de l'utiliser.

Le dispositif comprend généralement un blindage suffisant pour absorber les rayonnements afin de les ramener à un niveau sans danger pour le public

ainsi qu'un obturateur qui, lorsqu'il est ouvert, permet de diriger un faisceau de rayonnement émis par la source sur le sujet à traiter.

En mode d'exposition, le dispositif est configuré de telle sorte qu'aucun faisceau de rayonnement ne puisse atteindre le public, et des mécanismes de sécurité permettent uniquement au personnel autorisé d'accéder à la source à l'intérieur du dispositif ou au faisceau de rayonnement.

La plupart des dispositifs et des sources sont installés dans des lieux où ils restent en permanence (tels que des usines, des hôpitaux et des installations de stérilisation gamma). Cependant, il existe un certain nombre d'applications importantes, par exemple la gammagraphie et la mesure de l'humidité et de la densité des matériaux de construction, dans le cadre desquelles la source est utilisée pour une tâche unique sur un site, puis transportée jusqu'à un autre site dans son dispositif ou dans un colis de transport.

Un large éventail de dispositifs caractéristiques est présenté dans la section 5.

Les sources sont déplacées d'un endroit à l'autre soit à l'intérieur du dispositif dans lequel elles doivent être utilisées, soit dans des colis de transport spécialement conçus pour le type de source à transporter.

Le colis de transport peut aussi bien être un conteneur en acier de plus de cinq tonnes comprenant un blindage en plomb de plus de 20 cm d'épaisseur (pour les sources de grande taille destinées à la stérilisation) qu'une boîte en carton (pour les sources très faiblement radioactives ou dont le rayonnement est facilement absorbé).

Différents colis de transport classiques sont présentés dans la section 7.

4.8. SYSTÈME DE CATÉGORISATION DE L'AIEA POUR LES SOURCES RADIOACTIVES

L'AIEA a établi un système de catégorisation des sources radioactives [11] qui constitue un moyen simple et logique de classer celles-ci en fonction des dangers qu'elles peuvent présenter pour la santé humaine. Ce système permet également de classer en catégories distinctes les applications pour lesquelles ces sources sont utilisées.

Reconnaissant le caractère primordial de la santé humaine, l'AIEA a fondé son système de catégorisation sur les effets déterministes que les sources radioactives pourraient avoir sur la santé. Ce système de catégorisation repose donc sur le concept de 'source dangereuse', qui est quantifié par la valeur D . La valeur D est l'activité spécifique des radionucléides d'une source qui, si elle n'est pas maîtrisée, peut entraîner des effets déterministes graves dans un certain nombre de scénarios envisageant aussi bien une exposition externe à

une source non protégée qu'une exposition interne accidentelle consécutive à la dispersion (par exemple en cas d'incendie ou d'explosion) de la matière contenue dans la source.

Les différences d'ordre de grandeur de l'activité (A) du contenu radioactif peuvent être considérables d'une source à l'autre ; les valeurs D sont donc utilisées pour normaliser les fourchettes d'activité afin de donner une référence pour comparer les risques, la méthode consistant à prendre l'activité de la source (en TBq) et à la diviser par la valeur D du radionucléide considéré.

Dans certaines situations, il peut être indiqué de classer une source uniquement en fonction du ratio A/D, par exemple lorsque les pratiques pour lesquelles celle-ci peut être utilisée ne sont pas connues ou n'ont pas été confirmées, comme cela peut être le cas au moment où elle est importée ou exportée. Toutefois, lorsque les conditions d'utilisation de la source sont connues, l'organisme de réglementation peut, sur la base d'autres informations concernant cette source ou son utilisation, décider de la classer dans une autre catégorie. Dans certains cas, il peut être opportun de déterminer la catégorie en fonction de la pratique pour laquelle la source est utilisée (voir tableau 1).

Dans ce système de catégorisation, la catégorie 1 correspond aux sources qui sont potentiellement les plus dangereuses parce qu'elles peuvent présenter un risque important pour la santé humaine si elles ne sont pas gérées de façon sûre. Une exposition de seulement quelques minutes à une source non protégée de cette catégorie peut être mortelle. La catégorie 5, qui constitue l'autre extrémité du classement, correspond aux sources qui sont potentiellement les moins dangereuses : cependant, même ces sources peuvent donner lieu à des expositions dépassant les limites de dose si elles ne sont pas dûment contrôlées et elles doivent donc être soumises à un contrôle réglementaire approprié.

Pour une description détaillée et complète des catégories de sources, voir [11].

Dans les sections 5 et 6, les sources et les dispositifs sont classés en fonction de leur dangerosité, conformément au système de catégorisation décrit ci-dessus.

TABLEAU 1. CATÉGORIES RECOMMANDÉES POUR LES SOURCES RADIOACTIVES D'USAGE COURANT [11]

Catégorie	Source ^a et/ou utilisation	Ratio A/D^b
1	Générateurs thermoélectriques radioisotopiques Irradiateurs Téléthérapie Sources fixes utilisées en téléthérapie multifaisceaux (scalpel gamma)	$A/D \geq 1000$
2	Gammagraphie industrielle Curiethérapie à débit de dose élevé/moyen	$1000 > A/D \geq 10$
3	Jauges industrielles fixes comprenant des sources de haute activité Sondes de diagraphie	$10 > A/D \geq 1$
4	Curiethérapie à faible débit de dose (sauf plaques ophtalmiques et implants permanents) Jauges industrielles ne comprenant pas de sources de haute activité Densitomètres osseux Élimination des charges statiques	$1 > A/D \geq 0,01$
5	Curiethérapie à faible débit de dose : plaques ophtalmiques et implants permanents Dispositifs à fluorescence X (XRF) Dispositifs à capture d'électrons Spectrométrie Mossbauer Sources de référence pour la tomographie à émission de positons (PET)	$0,01 > A/D$ et $A >$ niveau d'exemption

^a Des facteurs autres que le ratio A/D ont été pris en considération pour classer les sources dans telle ou telle catégorie.

^b Cette colonne peut être utilisée pour déterminer uniquement sur la base du ratio A/D la catégorie à laquelle appartient une source. Cela peut être indiqué par exemple lorsque la pratique n'est pas connue ou n'est pas répertoriée, ou s'il s'agit de sources de courte période et/ou non scellées, ou de sources agrégées.

TABLEAU 2. DESCRIPTION DES CATEGORIES EN TERMES NON TECHNIQUES [11]

Catégorie de la source	Dangerosité pour les personnes se trouvant à proximité de la source	Risque encouru si le contenu radioactif de la source est dispersé à la suite d'un incendie ou d'une explosion
1	Extrêmement dangereuse : si elle n'est pas gérée de façon sûre ni sécurisée, une telle source est susceptible de causer des lésions irréversibles à toute personne qui l'a manipulée ou qui a été à son contact d'une autre manière pendant une durée supérieure à quelques minutes. Le fait de rester à proximité d'une telle quantité de matière radioactive non protégée pendant une durée allant de quelques minutes à une heure entraînerait probablement la mort.	En cas de dispersion, une telle quantité de matière radioactive pourrait - bien que cela soit improbable - causer des lésions irréversibles aux personnes se trouvant dans le voisinage immédiat ou mettre leur vie en danger. Les risques d'effets immédiats sur la santé des personnes se trouvant au-delà de quelques centaines de mètres seraient limités, voire inexistantes, mais un nettoyage des zones contaminées effectué conformément aux normes internationales s'imposerait. Dans le cas d'une source de grande taille, la zone à nettoyer pourrait atteindre 1 km ² , voire davantage. ^a
2	Très dangereuse : si elle n'est pas gérée de façon sûre ni sécurisée, une telle source est susceptible de causer des lésions irréversibles à toute personne qui l'a manipulée ou a été à son contact d'une autre manière pendant une courte durée (plusieurs minutes à plusieurs heures). Le fait de rester à proximité d'une telle quantité de matière radioactive non protégée pendant une durée allant de plusieurs heures à plusieurs jours entraînerait probablement la mort.	En cas de dispersion, une telle quantité de matière radioactive pourrait - bien que cela soit très improbable - causer des lésions irréversibles aux personnes se trouvant dans le voisinage immédiat ou mettre leur vie en danger. Les risques d'effets immédiats sur la santé des personnes se trouvant au-delà d'une centaine de mètres seraient limités, voire inexistantes, mais un nettoyage des zones contaminées effectué conformément aux normes internationales s'imposerait. La zone à nettoyer ne dépasserait probablement pas 1 km ² . ^a

TABLEAU 2. DESCRIPTION DES CATÉGORIES EN TERMES NON TECHNIQUES [11]

Catégorie de la source	Dangerosité pour les personnes se trouvant à proximité de la source	Risque encouru si le contenu radioactif de la source est dispersé à la suite d'un incendie ou d'une explosion
3	Dangereuse : si elle n'est pas gérée de façon sûre ni sécurisée, une telle source est susceptible de causer des lésions irréversibles à toute personne qui l'a manipulée ou a été à son contact d'une autre manière pendant plusieurs heures. Le fait de rester à proximité d'une telle quantité de matière radioactive non protégée pendant une durée allant de plusieurs jours à plusieurs semaines pourrait – bien que cela soit improbable – entraîner la mort.	En cas de dispersion, une telle quantité de matière radioactive pourrait - bien que cela soit extrêmement improbable - causer des lésions irréversibles aux personnes se trouvant dans le voisinage immédiat ou mettre leur vie en danger. Les risques d'effets immédiats sur la santé des personnes se trouvant au-delà de quelques mètres seraient limités, voire inexistant, mais un nettoyage des zones contaminées effectué conformément aux normes internationales s'imposerait. La zone à nettoyer ne dépasserait probablement pas une petite fraction de km ² . ^a
4	Peu susceptible de présenter un danger : Il est très improbable qu'une telle source cause des lésions irréversibles à qui que ce soit. Toutefois, si elle n'est pas gérée de façon sûre ni sécurisée, une telle quantité de matière radioactive non protégée est susceptible – bien que cela soit peu probable – de causer des lésions réversibles à toute personne qui l'a manipulée ou a été à son contact d'une autre manière pendant des heures ou qui est restée à proximité pendant des semaines.	En cas de dispersion, une telle quantité de matière radioactive ne pourrait causer aucune lésion irréversible à qui que ce soit. ^b
5	Très peu susceptible de présenter un danger : Une telle source ne pourrait causer aucune lésion irréversible à qui que ce soit. ^b	En cas de dispersion, une telle quantité de matière radioactive ne pourrait causer aucune lésion irréversible à qui que ce soit. ^b

^a La superficie à nettoyer dépendrait de nombreux facteurs et notamment de l'activité, du radionucléide en cause, de la façon dont il a été dispersé et des conditions météorologiques.

^b Cette affirmation ne prend pas en considération les effets tardifs éventuels sur la santé.

5. EXEMPLES DE DISPOSITIFS RADIOACTIFS

5.1. INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE STÉRILISATION

Catégorie	1 : Extrêmement dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Il s'agit généralement d'un bâtiment industriel de 100 mètres de largeur, 200 mètres de longueur et six mètres de hauteur qui a été spécialement construit pour cette application
Fourchette de masse typique	Sans objet
Applications	Stérilisation de matériaux par exposition au rayonnement gamma

Voir figure 9

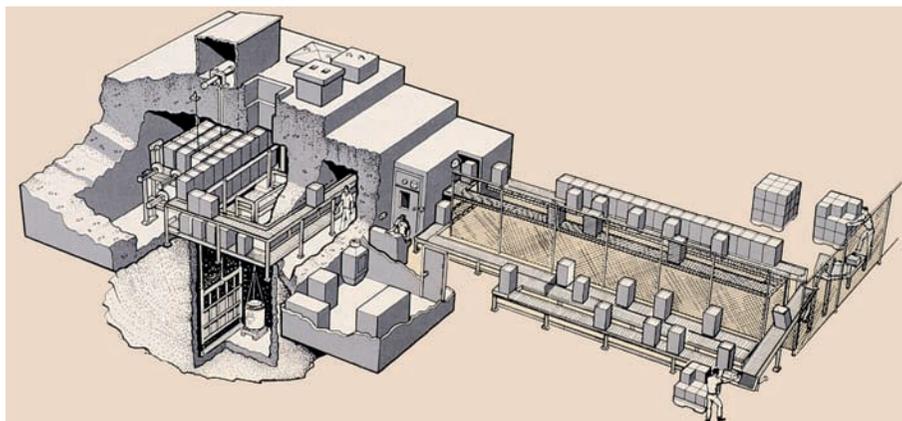


FIG. 9. Exemple typique d'installation industrielle de stérilisation par rayonnement gamma (source : Nuclear Regulatory Commission (NRC)).

Description de l'utilisation

Une installation industrielle de stérilisation n'est pas à proprement parler un dispositif. Il s'agit d'un bâtiment blindé contenant un grand nombre de sources de ^{60}Co qui constituent le dispositif d'irradiation.

Le produit à stériliser est placé dans la zone blindée et exposé aux sources pendant la durée requise pour délivrer la dose de rayonnement gamma nécessaire pour tuer les bactéries.

Généralement, les sources sont exposées dans le bâtiment blindé pendant le processus d'irradiation, puis descendues par télécommande dans une cavité ou un bassin rempli d'eau assurant la protection nécessaire si l'on a besoin d'accéder à la salle blindée.

On peut soit charger les produits par lots dans la salle blindée et retirer à distance les sources de la cavité ou du bassin pour procéder à l'irradiation, soit laisser les sources exposées de façon semi-permanente, les produits étant acheminés dans la salle blindée au moyen d'un convoyeur.

L'accès du personnel à la salle blindée est strictement contrôlé afin de réduire au minimum les risques de radioexposition.

Contexte d'exploitation typique

Les usines d'irradiation sont généralement implantées sur des sites industriels et fournissent des services contractuels d'irradiation de produits pour un large éventail d'applications. Elles traitent le plus souvent du matériel médical mais peuvent également être utilisées pour le traitement de produits alimentaires ou pour d'autres applications.

Pour placer les sources dans les irradiateurs et les en retirer, on utilise des conteneurs de transport spéciaux dans lesquels elles sont chargées par du personnel spécialisé.

Sources

Une installation d'irradiation typique peut contenir jusqu'à 185 PBq (5 MCi) de ⁶⁰Co.

5.2. APPAREILS DE TÉLÉTHÉRAPIE

Catégorie	1 : Extrêmement dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Tête de téléthérapie contenant la source : 300 à 600 mm de diamètre et 300 à 600 mm de longueur Ensemble du dispositif : 4 m de longueur, 2 m de largeur et 3 m de hauteur
Fourchette de masse typique	Tête de téléthérapie contenant la source : 200 à 500 kg Ensemble du dispositif : 500 à 1000 kg
Applications	Radiothérapie
Voir figures 10 à 15	



FIG. 10. Appareil de téléthérapie moderne (photographie : MDS Nordion).



FIG. 11. Appareil de téléthérapie.

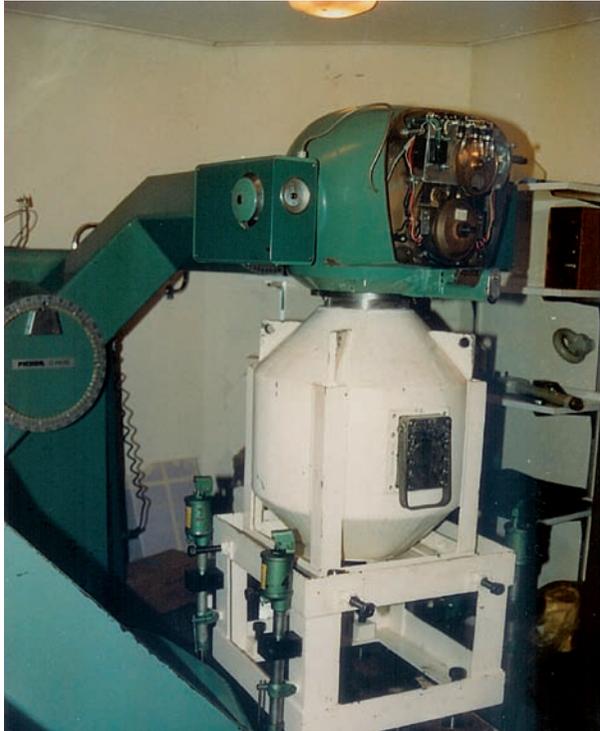


FIG. 12. Appareil de téléthérapie avec, en dessous (en blanc), le conteneur de remplacement de la source.



FIG. 13. Appareil de téléthérapie moderne (photographie : BRIT).



FIG. 14. Têtes de téléthérapie au ^{60}Co anciennes.



FIG. 15. Têtes de téléthérapie au ^{60}Co ou au ^{137}Cs endommagées.

Description de l'utilisation

Ces dispositifs comprennent généralement une seule source de ^{60}Co . Leur utilisation en cancérothérapie consiste à projeter sur une tumeur un faisceau ciblé de rayonnement de haute énergie.

La source radioactive est protégée dans le boîtier fortement blindé situé à l'extrémité du bras articulé. Le faisceau de rayonnement émis par la source est exposé pendant l'utilisation par l'ouverture d'un obturateur.

Le boîtier blindé peut être séparé du bras articulé et expédié à un établissement spécialisé en vue du remplacement de la source épuisée, ou le transfert de la source peut être effectué sur place au moyen d'un conteneur de

transport spécial permettant en une seule opération de livrer et d'installer la nouvelle source et de retirer la source épuisée.

Contexte d'exploitation typique

Un grand nombre de services hospitaliers de cancérothérapie dans le monde entier sont équipés de tels dispositifs.

L'appareil proprement dit est utilisé dans une installation blindée afin d'éviter que le faisceau de rayonnement n'atteigne les personnes se trouvant l'extérieur, et l'accès à cette installation est normalement soumis à un contrôle strict.

En raison de la très forte activité des sources, leur exploitation exige du matériel blindé très spécialisé et du personnel très bien formé.

Lorsqu'un appareil est retiré du service, le boîtier blindé contenant la source est parfois démonté et entreposé, et le reste de l'appareil est mis au rebut.

En raison de l'activité élevée de leurs sources, ces appareils font partie des dispositifs qui sont potentiellement les plus dangereux.

Sources

Activité de la source : jusqu'à 370 TBq (10 kCi) de ^{60}Co .

Un nombre très restreint d'appareils ont été équipés de sources de ^{137}Cs .

5.3. IRRADIATEURS DE SANG

Catégorie	1 : Extrêmement dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	1 m de côté et 1,5 m de hauteur
Fourchette de masse typique	1500 à 3500 kg
Applications	Irradiation de sang à des fins médicales
Voir figures 16 à 19	



FIG. 16. Exemple typique d'irradiateur de sang (photographie : MDS Nordion).



FIG. 17. Suremballage blindé destiné au transport d'un irradiateur de sang (photographie : MDSI Nordion).



FIG. 18. Irradiateur de sang
(photographie : BRIT).



FIG. 19. Modèle ancien d'irradiateur de sang.

Description de l'utilisation

Ces dispositifs sont utilisés pour le traitement du sang et consistent en une chambre blindée comprenant une cavité pouvant recevoir une poche d'une capacité d'environ 2 l contenant l'échantillon de sang. L'échantillon pénètre dans la cavité par une porte ou une chambre munie d'un dispositif de verrouillage qui permet d'éliminer le risque de radioexposition de l'opérateur.

La chambre blindée se trouve à l'intérieur d'une armoire de type médical.

Ces dispositifs comprennent généralement un système de commande électronique permettant de garantir que le temps d'exposition et, par conséquent, la dose administrée à l'échantillon, sont corrects.

Contexte d'exploitation typique

Ce type de dispositif est généralement utilisé dans des hôpitaux pour le traitement du sang. Il comprend une ou plusieurs sources qui sont entièrement confinées à l'intérieur de la chambre blindée, et il n'est généralement pas possible de les en retirer sans démonter le dispositif. Une telle opération ne

peut être effectuée que dans une installation blindée spécialisée qui dispose de matériel spécifique et de personnel formé.

Les chambres blindées, à l'intérieur desquelles les sources ont été préchargées, sont normalement expédiées par le fabricant à l'utilisateur dans un conteneur ou un suremballage de transport spécial. Lorsque les sources sont épuisées, ces chambres sont renvoyées au fabricant, également dans un suremballage de transport spécial, afin que celui-ci les vérifie et procède au remplacement des sources.

Sources

Activité typique des sources : jusqu'à 250 TBq (7 kCi) de ^{137}Cs ; jusqu'à 25 TBq (7 kCi) de ^{60}Co .

5.4. APPAREILS DE TÉLÉTHÉRAPIE MULTIFAISCEAUX (SCALPEL GAMMA)

Catégorie

1 : Extrêmement dangereux en l'absence de contrôle approprié

Dimensions typiques

Tête blindée sphérique contenant les sources : 1,8 m à 2 m de diamètre
Appareil complet : 4 à 5 m de longueur, 2 m de largeur et 2,5 m de hauteur

Fourchette de masse typique

Environ 20 000 kg

Applications

Radiothérapie

Voir figures 20 et 21



FIG. 20. Exemple typique de scalpel gamma (photographie : Elekta).



FIG. 21. Exemple typique de système de rechargement pour scalpel gamma (photographie : Elekta).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs comprennent généralement un assemblage d'environ 200 sources de ^{60}Co contenues dans une enceinte blindée sphérique. Un mécanisme de contrôle permet de focaliser sur des zones à traiter bien définies des faisceaux collimatés émis par les sources de l'assemblage que l'on a choisi d'utiliser. Les procédures médicales pour lesquelles ils sont utilisés consistent à faire converger les faisceaux de rayonnement sur la tumeur afin de détruire les cellules cancéreuses. Cette méthode est généralement utilisée pour traiter le cancer du cerveau et d'autres troubles cérébraux.

Ce type de dispositif est généralement appelé scalpel gamma, couteau gamma, bistouri gamma ou gamma knife.

Contexte d'exploitation typique

Ces dispositifs sont installés dans des services hospitaliers spécialisés en radiochirurgie.

L'appareil proprement dit est exploité dans une salle blindée, afin que les personnes se trouvant à l'extérieur ne puissent être atteintes par le rayonnement diffusé, l'accès à cette salle étant normalement soumis à un contrôle très strict.

Les sources sont généralement chargées, une fois que l'appareil a été mis en place, dans la tête blindée sphérique au moyen d'une cellule blindée spécialement conçue pour leur manipulation. La cellule blindée et le conteneur de transport des sources sont expédiés séparément. Les sources épuisées sont

déchargées de l'appareil et renvoyées au fabricant en vue de leur recyclage ou de leur stockage définitif.

Les appareils actuellement en service sont peu nombreux en raison de leur coût élevé et de la nature très spécialisée du traitement.

Sources

Activité typique des sources : un appareil comprend environ 200 sources ayant chacune une activité allant jusqu'à 1,1 TBq (30 Ci) de ^{60}Co .

5.5. IRRADIATEURS D'ÉCHANTILLONS À PETITE ÉCHELLE

Catégorie	1 : Extrêmement dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	1,5 m de côté × 2 m de hauteur
Fourchette de masse typique	1000 à 6000 kg
Applications	Recherche ; irradiation de matériaux
Voir figures 22 à 24	



FIG. 22. Exemple typique d'irradiateur d'échantillons (photographie : BRIT).



FIG. 23. Exemple typique d'irradiateur d'échantillons.



FIG. 24. Modèle d'irradiateur d'échantillons fourni à des établissements d'enseignements.

Description de l'utilisation

Ces dispositifs utilisent généralement une ou plusieurs sources de ^{60}Co .

Ils comprennent une chambre blindée dans laquelle la source ou les sources sont installées en permanence. Les échantillons à irradier sont chargés dans la chambre par une porte blindée tournante ou une trappe d'accès verrouillable afin d'éviter le risque d'exposition accidentelle de l'opérateur.

La chambre blindée se trouve à l'intérieur d'une armoire de type médical.

Les dispositifs modernes comprennent généralement un système de contrôle électronique qui permet de garantir que le temps d'exposition et, par conséquent, la dose administrée à l'échantillon, sont corrects.

Contexte d'exploitation typique

Ces dispositifs sont généralement utilisés dans des laboratoires de recherche, mais dans le passé, un grand nombre d'appareils plus petits ont été fournis à des établissements d'enseignement dans certains pays.

Ils sont utilisés pour irradier des échantillons de tissus humains, animaux et végétaux ainsi que d'autres matériaux.

Ils comprennent une ou plusieurs sources qui sont entièrement confinées à l'intérieur d'une chambre blindée, et il n'est généralement pas possible de les en retirer sans démonter le dispositif. Une telle opération ne peut être effectuée que dans une installation blindée spécialisée qui dispose de matériel spécifique et de personnel formé.

Les dispositifs, dans lesquels les sources ont déjà été chargées, sont normalement expédiés par le fabricant à l'utilisateur dans un suremballage de transport spécial. Lorsque les sources sont épuisées, les dispositifs sont renvoyés au fabricant, également dans un suremballage de transport spécial, afin que celui-ci les vérifie et procède au remplacement des sources.

Sources

Activité typique des sources : 70 TBq (2 kCi) à 900 TBq (25 kCi) de ^{60}Co .

5.6. IRRADIATEURS DE SEMENCES

Catégorie	1 : Extrêmement dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	1,5 m de côté × 2 m de hauteur après séparation du dispositif de transport

Fourchette de masse typique 3000 à 6000 kg après séparation du dispositif de transport

Applications Agriculture — irradiation de matières végétales

Voir figures 25 à 27

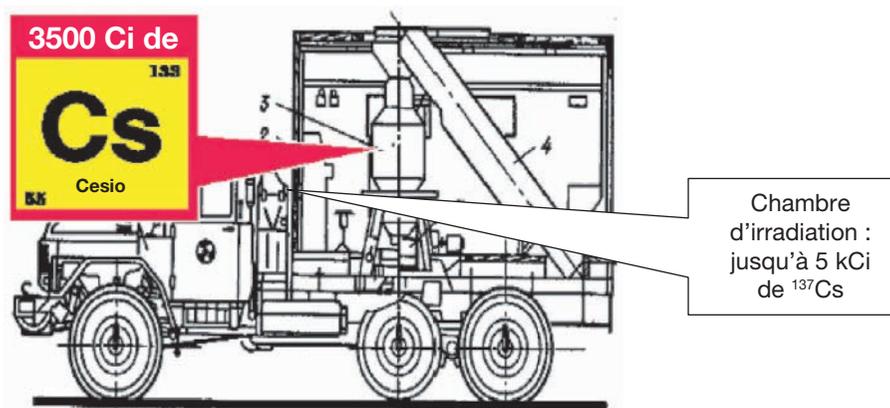


FIG. 25. Schéma d'un irradiateur de semences monté sur un camion.



FIG. 26. Irradiateurs mobiles contenant 3500 Ci de césium (ex-Union soviétique).



FIG. 27. Irradiateur de semences (détail).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs comprennent généralement une ou plusieurs sources de ^{137}Cs ou parfois de ^{60}Co .

On irradie les semences en les faisant passer dans une cellule blindée contenant une ou plusieurs sources de rayonnement gamma.

Un convoyeur rudimentaire est utilisé pour déplacer les semences à l'intérieur de l'irradiateur.

Contexte d'utilisation typique

Ces dispositifs ont surtout été utilisés dans l'ex-Union soviétique jusqu'à la fin des années 1970 pour irradier des semences afin d'améliorer les rendements des cultures et retarder la germination des produits récoltés. Le dispositif d'irradiation ainsi que le matériel de traitement connexe étaient installés sur un camion. De tels dispositifs étaient fournis à des laboratoires de recherche agricole et transportés sur différents sites pour y effectuer des travaux

d'irradiation. Ils consistent en un caisson blindé contenant les sources radioactives et comprenant un point d'entrée et un point de sortie qui permettent le passage continu des semences. Les points d'entrée et de sortie ont la configuration d'un labyrinthe afin d'éviter que le rayonnement s'en échappe.

Les irradiateurs de semences comprennent une ou plusieurs sources qui sont entièrement confinées à l'intérieur d'une chambre blindée, et il n'est généralement pas possible de les en retirer sans les démonter. Une telle opération ne peut être effectuée que dans une installation blindée spécialisée qui dispose de matériel spécifique et de personnel formé.

Les irradiateurs étaient généralement installés sur des camions afin de pouvoir être déplacés, mais ce type de dispositif mobile n'est plus utilisé pour l'irradiation des semences. On ne sait pas combien de dispositifs de ce genre ont été fournis dans le passé : il ressort des dossiers qu'ils ont été relativement peu nombreux à être officiellement déclassés. On pense que le nombre de dispositifs orphelins pourrait être élevé. Les chambres d'irradiation et le matériel connexe peuvent être retirés des camions.

Sources

Activité typique d'une source neuve : jusqu'à 185 TBq (5 kCi) de ^{137}Cs .

5.7. GÉNÉRATEURS THERMOÉLECTRIQUES RADIOISOTOPIQUES

Catégorie	1 : Extrêmement dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	cube de 1,5 m d'arête
Fourchette de masse typique	500 à 1000 kg
Applications	Production d'électricité
Voir figures 28 à 33	



FIG. 28. Générateur thermoélectrique radioisotopique.

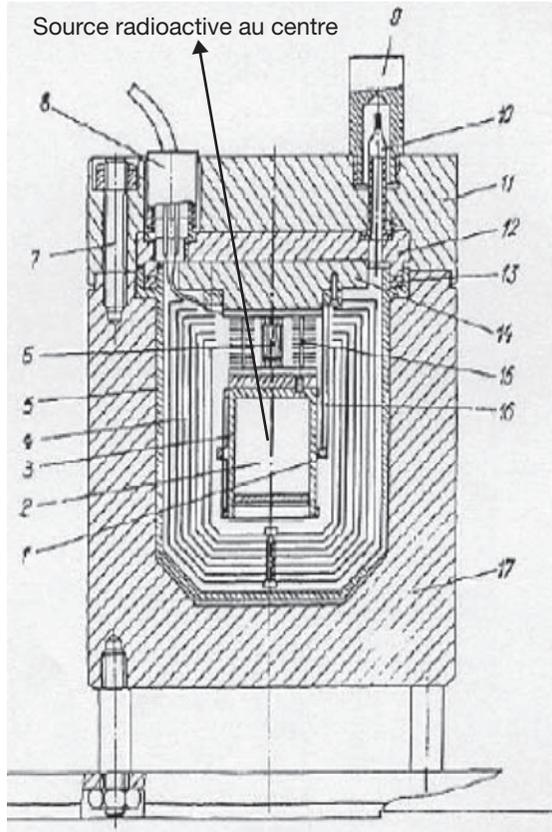


FIG. 29. Schéma d'un générateur thermoélectrique radioisotopique au ^{90}Sr .



FIG. 30. Générateur thermoélectrique radioisotopique.



FIG. 31. Générateur thermoélectrique radioisotopique.



FIG. 32. Générateur thermoélectrique radioisotopique.



FIG. 33. Stimulateur cardiaque alimenté par un générateur thermoélectrique radioisotopique.

Description de l'utilisation

Ces dispositifs utilisent généralement des sources de ^{238}Pu ou de ^{90}Sr .

Ils servent à produire de l'électricité dans des endroits isolés qui ne peuvent pas être alimentés par les moyens habituels. Leur principe de fonctionnement consiste à transformer en électricité au moyen d'un ensemble de thermocouples l'énergie thermique résultant de l'absorption du rayonnement émis par la source radioactive. Leurs principales applications sont au nombre de trois :

- 1) *Exploration spatiale* : les sondes et les satellites appelés à parcourir de longues distances dans l'espace utilisent souvent des générateurs thermoélectriques radioisotopiques (contenant généralement du ^{238}Pu) pour alimenter leurs instruments en électricité et les empêcher de geler. En raison de la nature des sondes spatiales et de la technologie apparentée, il est rare de rencontrer de tels générateurs.
- 2) *Stimulateurs cardiaques* : des générateurs thermoélectriques radioisotopiques au ^{238}Pu de très petite taille ont été utilisés jusque dans les années 1970 afin d'assurer pour la vie entière l'alimentation électrique des stimulateurs cardiaques. L'amélioration technique des piles et l'attention portée à la sûreté et aux questions de réglementation les ont rendus obsolètes. Étant donné leur faible activité, ces dispositifs ne posent pas de problème particulier.
- 3) *Production d'électricité dans des endroits isolés* : des générateurs thermoélectriques radioisotopiques ont été utilisés pour assurer l'alimentation électrique de phares et de radiobalises destinés à faciliter la navigation, principalement dans l'Arctique, ainsi que de dispositifs sous-marins d'écoute destinés à des fins militaires. Ces générateurs contiennent généralement une source de ^{90}Sr de grande taille (jusqu'à 1,85 PBq, soit 50 kCi).

Contexte d'exploitation typique

Les générateurs thermoélectriques radioisotopiques de grande taille fonctionnant avec une source de ^{90}Sr sont les dispositifs les plus préoccupants. Un grand nombre ont été installés dans les régions côtières isolées du Canada et de l'ex-Union soviétique. Cependant, on a cessé de les utiliser, car la navigation par satellite les a rendus obsolètes. Un programme de grande ampleur a été lancé en vue de les récupérer et de les déclasser, mais un certain nombre d'entre eux restent introuvables.

Un générateur thermoélectrique radioisotopique au ^{90}Sr est constitué d'un caisson de protection en acier comprenant des ailettes de refroidissement et d'une source de ^{90}Sr placée à l'intérieur. La source peut être retirée de son caisson de protection dans une installation blindée spécialisée par du personnel formé. La partie du dispositif qui sert à produire l'électricité est confinée dans le caisson de protection.

Les générateurs thermoélectriques radioisotopiques sont normalement associés aux équipements qu'ils doivent alimenter en électricité, par exemple un phare ou une radiobalise, mais on pense qu'un grand nombre d'entre eux ont été partiellement démontés, si bien que le caisson blindé est séparé du reste du dispositif.

Dans un cas, le caisson de protection d'un générateur a été retrouvé partiellement démonté, sans la source. Celle-ci, qui n'était plus protégée, a été retrouvée un peu plus loin. On pense que le dispositif a été démonté par un récupérateur de métaux.

Quand on considère l'ensemble des sources et des dispositifs, on estime que les générateurs thermoélectriques radioisotopiques posent un problème particulièrement préoccupant parce qu'un grand nombre d'entre eux restent introuvables, qu'ils sont situés dans des endroits isolés et difficiles à localiser et que leur contenu radioactif est important.

Notes

Les générateurs thermoélectriques radioisotopiques utilisés dans les stimulateurs cardiaques ont une activité relativement faible, et il est peu probable d'en rencontrer. Il est également très peu probable de se trouver en présence de générateurs destinés à l'exploration spatiale.

Sources

Activité typique des sources : 1,85 PBq (50 kCi) de ^{90}Sr pour la production terrestre d'électricité.

110 GBq (3 Ci) de ^{238}Pu pour les stimulateurs cardiaques.

5.8. TÊTES DE SONDE GAMMA (BULL PLUG) DE DIAGRAPHIE PÉTROLIÈRE

Catégorie

2 : Très dangereuses en l'absence de contrôle approprié

Dimensions typiques	20 à 60 mm de diamètre × 100 à 150 mm de longueur
Fourchette de masse typique	500 à 1000 g
Applications	Industrielles ; prospection et extraction du pétrole
Voir figures 34 et 35	



FIG. 34. Source typique de ^{137}Cs utilisée comme tête de sonde (bull plug) en diagraphie pétrolière (photographie : Schlumberger).



FIG. 35. Conteneur blindé typique servant au transport des sources de ^{137}Cs utilisées en diagraphie pétrolière, 37 kg × 170 mm de diamètre × 210 mm de longueur (photographie : Schlumberger).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs comprennent généralement une seule source de ^{137}Cs . La diagraphie pétrolière consiste à effectuer diverses mesures géophysiques dans les puits de pétrole afin d'évaluer leur rendement ainsi que la viabilité des opérations de prospection et d'extraction. Des sources gamma sont utilisées pour déterminer, en mesurant le rayonnement rétrodiffusé, la densité des couches de roches autour du forage.

La source proprement dite est en métal extrêmement solide et résistant à la corrosion. Elle est généralement fixée ou soudée à la tête de sonde, laquelle peut servir à collimater le faisceau de rayonnement et assurer une protection supplémentaire de la source à l'intérieur du puits. Elle peut aussi être reliée à l'instrumentation connexe.

La source et la tête de sonde sont extrêmement robustes afin de pouvoir résister aux températures et aux pressions externes élevées et aux milieux très corrosifs auxquelles elles sont exposées au fond des puits.

La tête de sonde est elle-même chargée dans un ensemble tubulaire d'instruments qui est descendu dans le puits de pétrole.

L'ensemble d'instruments peut être descendu dans le puits au moyen d'un câble de forte section qui supporte le poids des instruments et permet de transmettre les signaux à la surface en vue de leur enregistrement et de leur évaluation ou être intégré à une tête de forage, auquel cas les signaux sont stockés dans les instruments et exploités lorsque ceux-ci sont remontés à la surface. Parfois, on utilise un système de télémétrie plus complexe qui permet de transmettre les mesures à la surface en cours de forage.

Contexte d'exploitation typique

Les têtes de sonde sont largement utilisées dans l'industrie pétrolière. Elles sont transportées par les entreprises prestataires de services de diagraphie, et on peut en rencontrer dans les bases opérationnelles des sociétés ainsi que sur les sites de forages pétroliers. Lorsqu'elles ne sont pas en service, elles devraient être entreposées dans des locaux sécurisés.

La tête de sonde est conservée dans un conteneur de stockage et de transport blindé spécial jusqu'à ce qu'on en ait besoin. Elle est alors transférée dans l'ensemble d'instruments juste avant d'être descendue dans le puits de pétrole, ce qui donne lieu à une émission de rayonnement, la source étant exposée sans protection pendant une courte durée. À ce stade, une zone contrôlée est mise en place autour de la tête de sonde pour éviter l'exposition du personnel.

En général, les sources de diagraphie et les têtes de sonde sont soumises à un contrôle approprié, et il est rare que des sources orphelines soient signalées, mais comme il s'agit d'objets mobiles, le risque de perte ou de détournement est important.

La plupart des têtes de sonde de diagraphie gamma utilisées dans les forages pétroliers contiennent des sources de ^{137}Cs , mais des sources de ^{60}Co ont également été utilisées en de rares occasions. Il en existe de nombreux modèles différents.

Sources

Activité typique des sources : entre 37 GBq (1 Ci) et 111 GBq (3 Ci) de ^{137}Cs (sources neuves).

5.9. SONDES NEUTRONIQUES DE DIAGRAPHIE PÉTROLIÈRE

Catégorie	2 : Très dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	20 à 60 mm de diamètre × 100 à 200 mm de longueur
Fourchette de masse typique	400 à 1000 g
Applications	Industrielles : prospection et extraction du pétrole
Voir figures 36 à 42	



FIG. 36. Source de neutrons $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ typique utilisée en diagraphie pétrolière.



FIG. 37. Source de neutrons $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ typique utilisée en diagraphie pétrolière — endommagée lors de l'utilisation normale.



FIG. 38. Source de neutrons $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ typique utilisée en diagraphie pétrolière.



FIG. 39. Source de neutrons $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ typique utilisée en diagraphie pétrolière.



FIG. 40. Source de neutrons $^{238}\text{Pu}/\text{Be}$ typique utilisée en diagraphie pétrolière.



FIG. 41. Conteneurs typiques utilisés pour le transport et le stockage des sources neutroniques de diagraphie pétrolière.



FIG. 42. Conteneur typique utilisé pour le transport et le stockage des sources neutroniques de diagraphie pétrolière.

Description de l'utilisation

Ces dispositifs comprennent généralement une seule source neutronique $^{241}\text{Am/Be}$. Un petit nombre d'appareils utilisant des matières à fission spontanée ($^{238}\text{Pu/Be}$ ou ^{252}Cf) ont également été fabriqués, mais la plupart sont maintenant obsolètes.

La diagraphie pétrolière consiste à effectuer diverses mesures géophysiques dans les puits de pétrole afin d'évaluer leur rendement ainsi que la viabilité des opérations de prospection et d'extraction. Des sources de neutrons sont utilisées pour déterminer, en mesurant le rayonnement rétrodiffusé, la teneur en hydrogène des couches de roches autour du forage. Ce paramètre, combiné avec d'autres, renseigne sur la présence d'hydrocarbures.

La source proprement dite est généralement en métal extrêmement solide et résistant à la corrosion. Elle est généralement fixée ou soudée à la tête de sonde, laquelle assure une protection supplémentaire de la source à l'intérieur du puits. Elle peut aussi être reliée à l'instrumentation connexe.

La source et la tête de sonde sont extrêmement robustes afin de pouvoir résister aux températures et aux pressions externes élevées et aux milieux très corrosifs auxquelles elles sont exposées au fond des puits.

La tête de sonde est elle-même chargée dans un ensemble tubulaire d'instruments qui est descendu dans le puits de pétrole.

L'ensemble d'instruments peut être descendu dans le puits au moyen d'un câble de forte section qui supporte le poids des instruments et permet de transmettre les signaux à la surface en vue de leur enregistrement et de leur évaluation ou être intégré à une tête de forage, auquel cas les signaux sont stockés dans les instruments et exploités lorsque ceux-ci sont remontés à la surface. Parfois, on utilise un système de télémétrie plus complexe qui permet de transmettre les mesures à la surface en cours de forage.

Contexte d'exploitation typique

Les têtes de sonde sont largement utilisées dans l'industrie pétrolière. Elles sont transportées par les entreprises prestataires de services de diagraphie, et on peut en rencontrer dans les bases opérationnelles des sociétés ainsi que sur les sites de forages pétroliers. Elles sont entreposées dans des locaux sécurisés.

La tête de sonde est conservée dans un conteneur de stockage et de transport blindé spécial jusqu'à ce qu'on en ait besoin. Elle est alors transférée dans l'ensemble d'instruments juste avant d'être descendue dans le puits de pétrole, ce qui donne lieu à une émission de rayonnement, la source étant

exposée sans protection pendant une courte durée. À ce stade, une zone contrôlée est mise en place autour de la tête de sonde pour éviter l'exposition du personnel.

En général, les sources de diagraphie et les têtes de sonde sont soumises à un contrôle approprié, et il est rare que des sources orphelines soient signalées, mais, comme il s'agit d'objets mobiles, le risque de perte ou de détournement est important.

Bien que la diagraphie neutronique soit utilisée pour les mêmes applications que la diagraphie gamma, les têtes de sonde Am/Be ont dans une large mesure été remplacées par des générateurs de neutrons qui ne sont pas des sources scellées. Il y a donc beaucoup moins de sources neutroniques $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ en circulation que de sources de ^{137}Cs .

Il existe différents modèles de têtes de sonde neutroniques. Dans certains cas, la source et la tête de sonde sont un seul et même dispositif, autrement dit la source scellée constitue elle-même la tête de sonde. Elle est réalisée dans un matériau extrêmement solide qui résiste à la corrosion, et elle comprend tous les accessoires nécessaires pour être reliée à l'instrumentation.

Sources

Activité typique des sources : entre 74 GBq (2 Ci) et 740 GBq (20 Ci) de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$. Des sources de $^{238}\text{Pu}/\text{Be}$ ou de ^{252}Cf sont parfois utilisées.

5.10. APPAREILS DE GAMMAGRAPHIE

Catégorie	2 : Très dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	350 mm de longueur × 200 mm de largeur × 240 mm de hauteur pour les appareils utilisant des sources de ^{192}Ir ou de ^{75}Se et jusqu'à 900 mm de longueur × 900 mm de largeur × 900 mm de hauteur pour ceux utilisant des sources de ^{60}Co
Fourchette de masse typique	8 à 35 kg pour les appareils utilisant des sources de ^{192}Ir ou de ^{75}Se et 100 à 200 kg pour ceux utilisant des sources de ^{60}Co
Applications	Radiographie industrielle mobile dans les usines et sur les chantiers de construction
Voir figures	43 à 56

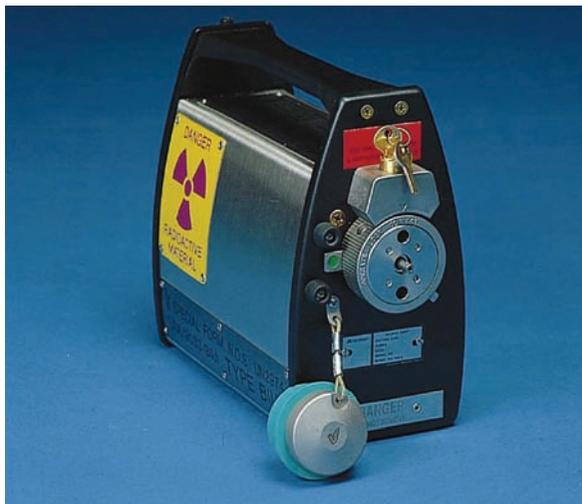


FIG. 43. Exemple typique d'appareil portatif moderne de gammagraphie (photographie : QSA-GLOBAL).



FIG. 44. Exemple typique d'appareil portatif moderne de gammagraphie (photographie : MDS Nordion).



FIG. 45. Exemple typique d'appareil moderne léger de gammagraphie (utilisant des sources de ^{75}Se) (photographie : MDS Nordion).



FIG. 46. Exemple typique d'appareil portatif moderne de gammagraphie (photographie : BRIT).



FIG. 47. Exemple typique d'appareil portatif moderne de gammagraphie (photographie : QSA-GLOBAL).



FIG. 48. Exemple typique d'appareil de gammagraphie obsolète (source de ^{60}Co) (photographie : NE- Seibersdorf).



FIG. 49. Exemple typique d'appareil portatif moderne de gammagraphie (photographie : NE-Seibersdorf).



FIG. 50. Exemple typique de conteneur-échangeur de source (photographie : QSA-GLOBAL).

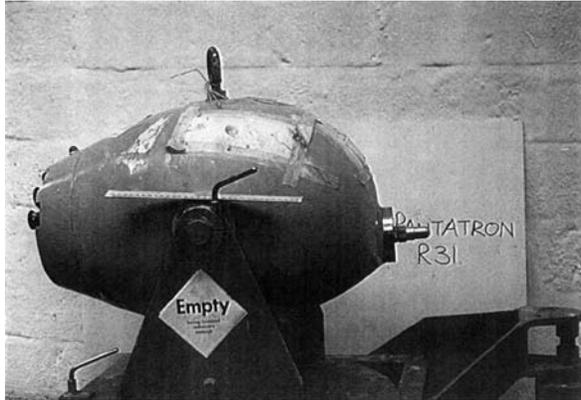


FIG. 51. Exemple d'appareil de gammagraphie obsolète dont le dispositif d'exposition de la source est commandé par câble.



FIG. 52. Exemple d'appareil de gammagraphie obsolète à exposition manuelle de la source (photographie : NE-Seibersdorf).



FIG. 53. Exemple typique de dispositif moderne semi-portatif de gammagraphie utilisant une source de ^{60}Co (photographie : MDS Nordion).



FIG. 54. Exemple typique de dispositif moderne semi-portatif de gammagraphie utilisant une source de ^{60}Co (photographie : QSA-GLOBAL).

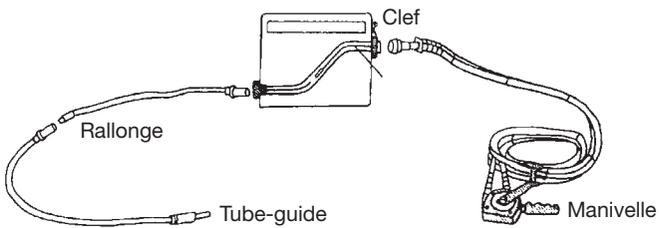


FIG. 55. Tube-guide de radiographie.

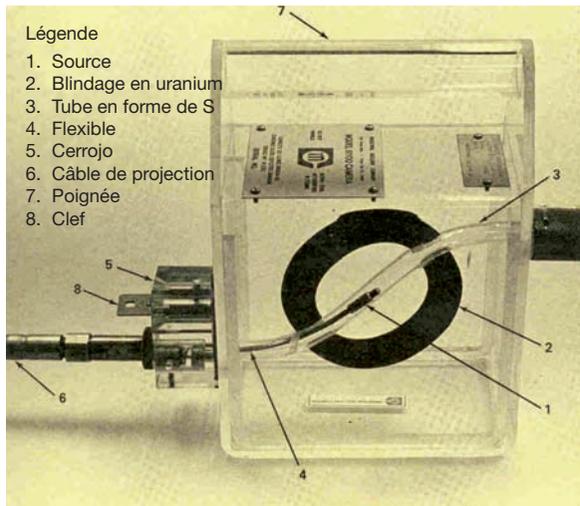


FIG. 56. Tube-guide de radiographie (dans un coffret transparent).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs utilisent surtout des sources gamma de ^{192}Ir , mais aussi de ^{75}Se , ^{169}Yb et ^{60}Co et, très rarement, de ^{137}Cs . On les utilise pour radiographier des ouvrages de génie civil. Ils contiennent une seule source reliée à un câble flexible qui peut être positionnée à proximité de l'objet à radiographier. Un film radiographique placé derrière l'objet est impressionné par les rayons gamma qui traversent celui-ci. L'image ainsi produite fait apparaître les différences de densité de l'objet radiographié.

Les appareils de gammagraphie sont aussi parfois appelés gammagraphes, projecteurs de gammagraphie ou simplement projecteurs.

Ces dispositifs sont parmi les plus dangereux qui soient, car pour les utiliser, la source doit être retirée du conteneur de protection et exposée en milieu ouvert.

Tous les utilisateurs de matériel de gammagraphie ont reçu une formation poussée et doivent respecter des règles très strictes leur imposant de mettre en place des zones contrôlées pour empêcher l'accès du public et assurer leur propre protection lorsque la source est en position d'exposition.

Il existe deux types principaux d'appareils de gammagraphie : des dispositifs portatifs très légers d'usage courant, utilisés principalement pour radiographier les soudures dans des ouvrages métalliques, et des dispositifs semi-portatifs généralement dotés de sources de ^{60}Co émettant un rayonnement de plus haute énergie qui sont davantage protégés et donc plus lourds et moins faciles à transporter. Cependant, le principe de fonctionnement des deux systèmes est similaire.

Le blindage des dispositifs modernes est souvent en uranium appauvri, en plomb, en tungstène, ou en alliage d'uranium appauvri et de tungstène, et la source est fixée à un câble flexible placé dans une gaine en forme de « s » à l'intérieur de ce blindage. Le câble flexible est appelé « pigtail » en anglais.

La gaine comprend à chaque extrémité un dispositif de raccordement qui est verrouillé pour empêcher l'accès à la source lorsque celle-ci n'est pas utilisée.

Lorsque la source doit être utilisée, un long câble de commande souple est relié au câble flexible au moyen d'un adaptateur situé à une extrémité de la gaine en forme de « s », et la source est projetée en dehors du blindage dans une gaine d'éjection tubulaire souple pour être mise en position d'exposition afin de réaliser la radiographie requise. En général, le câble de commande est actionné manuellement.

Contexte d'exploitation typique

Les appareils de gammagraphie sont utilisés dans de nombreux endroits aussi différents que des chantiers de construction et des usines, principalement en raison de leur légèreté et de leur mobilité, mais aussi parce que, à la différence des appareils de radiographie à rayons X, ils ne requièrent pas d'alimentation électrique.

Ils sont donc régulièrement transportés d'un endroit à l'autre dans des camionnettes et des voitures.

La plupart des sources de gammagraphie ont une période relativement courte et, lorsqu'elles sont épuisées, elles sont remplacées par le propriétaire et non pas dans une installation spécialisée où l'appareil complet serait envoyé pour procéder à l'échange. Toutefois, les appareils de gammagraphie font généralement l'objet d'une maintenance régulière assurée par le fabricant ou son représentant agréé. Dans le cas des dispositifs portatifs, un conteneur-échangeur de source spécial est utilisé pour livrer la nouvelle source à l'utilisateur, faciliter l'échange des sources et renvoyer la source épuisée au fabricant en vue de son recyclage ou de son stockage définitif. Dans le cas des dispositifs utilisant des sources de ^{60}Co , dont l'énergie est plus élevée, le dispositif complet est généralement envoyé au fabricant pour faciliter l'échange de la source. Comme le montre l'illustration fournie dans la présente section, « l'échangeur de source » est un conteneur de transport.

Observations

Avant la généralisation du principe consistant à exposer la source au moyen d'un câble de télécommande, il existait des dispositifs où celle-ci était

placée dans un collimateur blindé comprenant un obturateur à commande manuelle que l'on ouvrirait ou que l'on retirait pour la mettre en position d'exposition. On trouvera dans la présente section une illustration représentant ce type de dispositif, qui n'est plus utilisé.

Sources

Activités maximales typiques des sources :

- 5,5 TBq (150 Ci) de ^{192}Ir ;
- 2,9 TBq (80 Ci) de ^{75}Se ;
- 740 GBq (20 Ci) de ^{169}Yb ;
- 370 GBq (10 Ci) de ^{60}Co ;
- 370 GBq (10 Ci) de ^{137}Cs .

5.11. DISPOSITIFS D'INSPECTION INTERNE DES CANALISATIONS PAR GAMMAGRAPHIE (CRAWLER)

Catégorie	2 : Très dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	800 à 1500 mm de longueur × 400 mm de largeur × 400 mm de hauteur
Fourchette de masse typique	50 à 100 kg
Applications	Radiographie industrielle mobile des canalisations

Voir figures 57 à 59



FIG. 57. Exemple typique de dispositif d'inspection interne des canalisations par gammagraphie (photographie : MDS Nordion).



FIG. 58. Source pour dispositif d'inspection interne des canalisations dans son conteneur de transport (photographie : MDS Nordion).



FIG. 59. Introduction d'un dispositif d'inspection interne dans une canalisation ouverte (photographie : MDS Nordion).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs comprennent généralement une seule source gamma de ^{192}Ir , mais des sources de ^{75}Se peuvent également être utilisées. Ils servent exclusivement à radiographier les soudures sur des canalisations fermées de grande longueur lorsque la source doit être exposée à un endroit précis par rapport à la soudure. Des batteries leur fournissent l'énergie nécessaire pour se déplacer à l'intérieur des canalisations. Une télécommande permet de les arrêter au niveau du cordon de soudure à l'intérieur de la canalisation, puis la source est automatiquement extraite de son étui de protection pour être mise en position d'exposition. Un film radiographique placé autour du cordon de soudure à l'extérieur de la canalisation est impressionné par les rayons gamma émis par la source qui traversent la paroi. L'image ainsi obtenue fait apparaître les différences de densité de la partie radiographiée.

Tous les utilisateurs de matériel de gammagraphie ont reçu une formation poussée et doivent respecter des règles très strictes leur imposant de mettre en place des zones contrôlées pour empêcher l'accès du public et assurer leur propre protection lorsque la source est en position d'exposition.

Contexte d'exploitation typique

Ces dispositifs sont utilisés dans la plupart des situations où il est nécessaire de contrôler la qualité de canalisations qui viennent d'être construites ou de surveiller la détérioration de canalisations anciennes, notamment dans les industries de transformation, la pétrochimie et la distribution du gaz.

Ils sont donc régulièrement transportés d'un endroit à l'autre dans des camionnettes ou des voitures.

La source est placée dans un étui blindé qui est transporté dans un conteneur séparé et elle est raccordée sur place au dispositif de contrôle avant d'être utilisée.

Dans la plupart des cas, les sources sont remplacées uniquement par le fournisseur ou le fabricant du dispositif de contrôle parce qu'il s'agit d'une opération complexe qui nécessite du matériel blindé spécial de manipulation.

Sources

Activité maximale typique : 5,5 TBq (150 Ci) pour les sources de ^{192}Ir ; 2,9 TBq (80 Ci) pour les sources de ^{75}Se .

5.12. JAUGES DE HAUTE ACTIVITÉ

Catégorie	3 : Dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	200 à 400 mm de diamètre × 300 à 700 mm de longueur
Fourchette de masse typique	20 à 400 kg
Applications	Contrôle de processus industriels
Voir figures 60 à 69	



FIG. 60. Porte-source de jauge ^{137}Cs (photographie : Endress & Hauser).

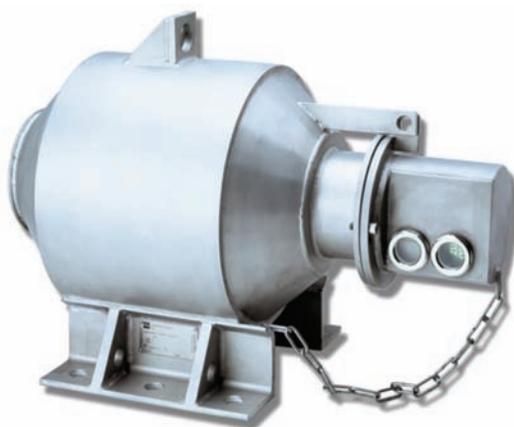


FIG. 61. Porte-source de jauge ^{60}Co (photographie : Endress & Hauser).



FIG. 62. Conteneurs de sources de jauges à rayonnement gamma déclassés.



FIG. 63. Conteneur de source de jauge à rayonnement gamma.

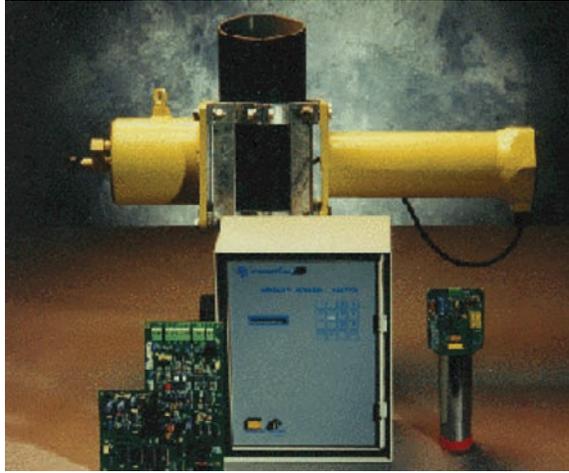


FIG. 64. Jauge de densité à rayonnement gamma montée sur une section de tube.



FIG. 65. Transmetteur de densité compact à rayonnement gamma monté sur une section de tube (photographie : Endress & Hauser).



FIG. 66. Jauges de densité en position sur des canalisations.



FIG. 67. Exemple typique de conteneur pour source de jauge à rayonnement gamma.

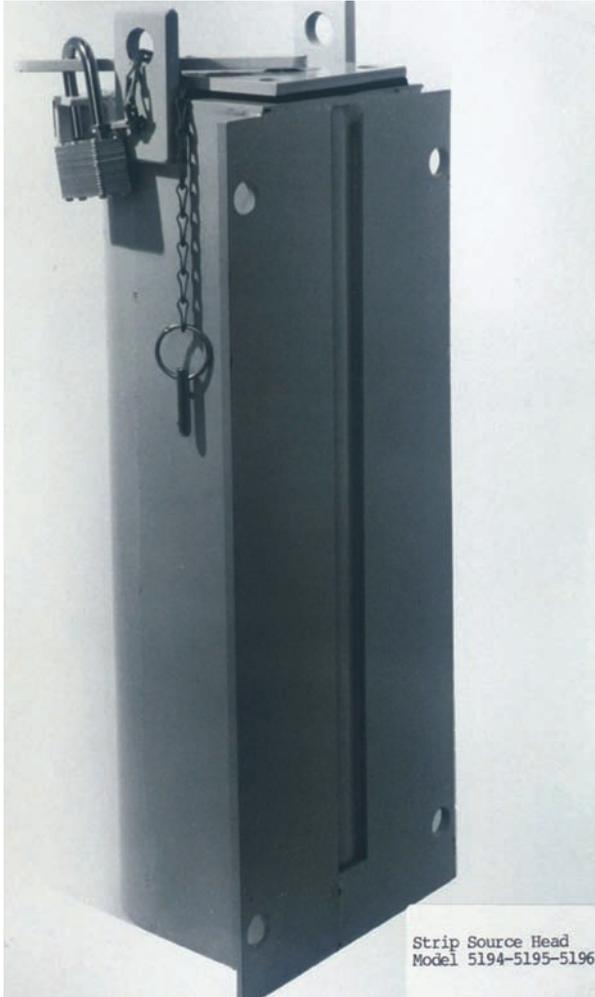


FIG. 68. Exemple typique de conteneur de source linéaire (photographie : NRC).



FIG. 69. Exemple typique de conteneur de source linéaire (photographie : NRC).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs utilisent principalement des sources de ^{137}Cs et de ^{60}Co .

Les jauges de densité et d'épaisseur permettent de mesurer la transmission ou la rétrodiffusion d'un faisceau de rayonnement par un matériau. Par exemple, dans le cas des applications donnant lieu à des mesures d'épaisseur, le rayonnement gamma transmis à travers une lame d'acier de

densité constante produite par une aciérie est proportionnel à l'épaisseur de l'acier. Cette mesure peut ensuite être utilisée pour contrôler le processus.

De même, dans une canalisation transportant un mélange fluide de matières, l'intensité du rayonnement rétrodiffusé est proportionnelle à la densité du mélange, ce qui permet d'en déterminer la composition.

La quantité de rayonnement que doit émettre la source et, par conséquent, la dangerosité relative de celle-ci, dépendent de l'épaisseur ou de la densité du matériau à mesurer. L'énergie de rayonnement requise est relativement élevée dans le cas des matériaux les plus lourds et les plus denses, comme il est indiqué dans la présente section, et elle est plus faible dans le cas des matériaux plus fins et plus légers, comme il est indiqué dans la section 5.13.

Le dispositif contenant la source est appelé « conteneur porte-source », « boîtier de la source » ou « collimateur ». Lorsque la source et le détecteur sont logés dans le même boîtier, le dispositif est appelé « jauge gamma » ou « tête de mesure ». Le terme « porte-source » est aussi largement utilisé, mais il est ambigu, car il peut désigner l'ensemble du dispositif contenant la source ou un composant du dispositif auquel la source est raccordée.

Ces dispositifs consistent généralement en une lourde enveloppe en acier garnie de plomb au centre de laquelle se trouve une source unique et comprennent un obturateur simple qui, lorsqu'il est ouvert, laisse apparaître une ouverture par laquelle passe le faisceau de rayonnement.

Pour quelques applications nécessitant uniquement des mesures de niveau, on peut utiliser un ensemble de sources ou une source unique de forme allongée. Des exemples typiques de dispositifs destinés à recevoir de telles sources sont présentés dans les figures 60 et 61.

L'obturateur est généralement cadenassé afin d'empêcher tout accès non autorisé et il comprend souvent un mécanisme de commande électromécanique ou pneumatique qui en assure la fermeture automatique lorsque le système de mesure n'est pas en service.

Contexte d'exploitation typique

Les jauges de densité, d'épaisseur et de niveau sont couramment utilisées dans de nombreuses activités industrielles de transformation telles que le traitement des minéraux, la pétrochimie et la plupart des opérations de laminage. Elles sont montées en permanence sur des cuves industrielles, des canalisations, des trémies, des convoyeurs et des laminoirs.

Les jauges à rayonnement gamma de haute énergie sont utilisées pour le traitement des métaux et des minéraux ainsi que dans des réacteurs chimiques industriels. Les jauges à rayonnement gamma de faible énergie sont utilisées

pour mesurer l'épaisseur et la densité de films plastiques, du papier et d'autres matériaux fins. Les jauges de faible énergie sont présentées dans la section 5.13.

Dans la plupart des cas, la source est acheminée jusqu'au site à l'intérieur du dispositif, dont l'emploi comme conteneur de transport est également autorisé. Dans certains cas, le dispositif est transporté dans un suremballage consistant normalement en une caisse d'emballage industrielle en bois sur laquelle les étiquettes appropriées ont été apposées.

Lorsque la source est épuisée, l'ensemble du dispositif est normalement échangé sur place, la source étant ensuite déchargée du dispositif dans une installation spécialisée. Il est donc relativement fréquent que les dispositifs représentés dans les illustrations soient expédiés avec la source à l'intérieur.

Sources

Fourchette d'activité typique :

370 MBq (10 mCi) à 370 GBq (10 Ci) dans le cas des sources de ^{137}Cs ;
37 MBq (1 mCi) à 37 GBq (1 Ci) dans le cas des sources de ^{60}Co .

5.13. JAUGES DE DENSITÉ, D'ÉPAISSEUR ET DE NIVEAU À RAYONNEMENT GAMMA DE FAIBLE ÉNERGIE

Catégorie	3 : Dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	200 à 400 mm de diamètre × 300 à 700 mm de longueur
Fourchette de masse typique	20 à 50 kg
Applications	Contrôle de processus industriels
Voir figures 70 et 71	



FIG. 70. Exemple typique de jauge à transmission (^{241}Am) installée sur une section de tuyau.



FIG. 71. Exemple typique de jauge de niveau (^{241}Am) montée sur une chaîne de remplissage (photographie : NRC).

Description de l'utilisation

Les jauges de densité et d'épaisseur permettent de mesurer la transmission ou la rétrodiffusion d'un faisceau de rayonnement qui traverse un matériau. Par exemple, la quantité de rayonnement gamma traversant un film de densité connue sortant d'un laminoir est proportionnelle à l'épaisseur du film. Cette mesure peut ensuite être utilisée pour contrôler le processus.

Ces jauges peuvent aussi être utilisées pour contrôler des opérations de remplissage en tirant parti du fait qu'un faisceau de rayonnement traversant une boîte de conserve ou un carton est atténué lorsque le niveau de remplissage dépasse le niveau du faisceau.

Les jauges d'épaisseur et de densité à rayonnement gamma de faible énergie sont utilisées pour effectuer des mesures sur des films de plastique, du papier et des tubes de faible diamètre transportant des fluides. Les jauges à rayonnement gamma de haute énergie sont généralement utilisées pour le traitement des métaux et des minerais. Celles-ci sont présentées dans la section 5.12.

Les caractéristiques précises du dispositif contenant la source dépendent généralement de l'application.

Le dispositif contenant la source est appelé « conteneur porte-source », « boîtier de la source » ou « collimateur ». Lorsque la source et le détecteur sont logés dans le même boîtier, le dispositif est appelé « jauge gamma » ou « tête de mesure ». Le terme « porte-source » est aussi largement utilisé, mais il est ambigu, car il peut désigner l'ensemble du dispositif contenant la source ou un composant du dispositif auquel la source est raccordée.

Ces dispositifs consistent généralement en une lourde enveloppe en acier garnie de plomb ou de tungstène pour protéger la source placée au centre et comprennent un obturateur simple qui, lorsqu'il est ouvert, laisse apparaître une ouverture par laquelle passe le faisceau de rayonnement.

L'obturateur est généralement cadenassé afin d'empêcher tout accès non autorisé et il comprend souvent un mécanisme de commande électromécanique qui en assure la fermeture automatique lorsque le système de mesure n'est pas en service.

Contexte d'exploitation typique

Les jauges de densité et d'épaisseur à rayonnement gamma de faible énergie sont couramment utilisées dans de nombreuses activités industrielles de transformation telles que la fabrication de produits en feuilles. Elles sont également utilisées pour mesurer la densité de fluides dans des tuyaux. Elles sont montées en permanence sur des laminoirs et des canalisations.

Dans de nombreux cas, le porte-source et le dispositif de mesure des rayonnements sont intégrés dans un seul appareil qui est installé sur le laminoir où les mesures doivent être effectuées.

Dans la plupart des cas, la source est acheminée jusqu'au site à l'intérieur du dispositif, dont l'emploi comme conteneur de transport est également autorisé. Sinon, elle est transportée séparément et incorporée à la jauge par un spécialiste formé.

Étant donné que ^{241}Am est un radionucléide à longue période, les échanges de source pendant la durée de vie du dispositif sont inhabituels.

Sources

Fourchette d'activité typique : 370 MBq (10 mCi) à 111 GBq (3 Ci) de ^{241}Am .

5.14. JAUGES DE DENSITÉ ET D'ÉPAISSEUR À RAYONNEMENT BÊTA

Catégorie	4 : Peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	100 à 300 mm de longueur × 100 à 300 mm de largeur × 100 à 300 mm de hauteur
Fourchette de masse typique	10 à 20 kg
Applications	Contrôle de processus industriels
Voir figures 72 à 74	



FIG. 72. Jauge à rayonnement bêta installée sur un laminoir (photographie : Betarem).

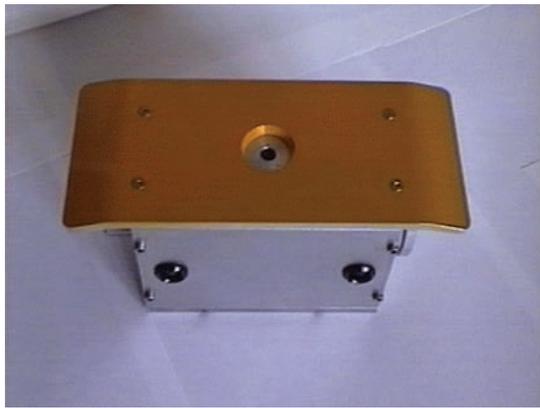


FIG. 73. Détail d'un porte-source de jauge à rayonnement bêta (photographie : Betarem).



FIG. 74. Jauge bêta installée sur un laminoir (photographie : NRC).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs utilisent généralement des sources de ^{90}Sr et de ^{85}Kr et, occasionnellement, de ^{147}Pm .

Les jauges de densité et d'épaisseur permettent de mesurer la transmission ou la rétrodiffusion d'un faisceau de rayonnement qui traverse un matériau. Par exemple, la quantité de rayonnement bêta traversant une bande de papier de densité connue sortant d'une machine à papier est proportionnelle à l'épaisseur du papier. Cette mesure peut ensuite être utilisée pour contrôler le processus.

La source radioactive est choisie en fonction de l'épaisseur du matériau à mesurer, afin d'optimiser les caractéristiques d'atténuation du rayonnement. On utilise des sources de ^{90}Sr pour les matériaux les plus épais et les plus denses, et des sources de ^{147}Pm pour ceux dont l'épaisseur et la densité sont les plus faibles.

Ces jauges ont un principe de fonctionnement similaire à celui des jauges d'épaisseur et de densité à rayonnement gamma, mais elles sont utilisées pour mesurer des articles plus fins ou plus légers.

Le dispositif contenant la source d'une jauge à rayonnement bêta est appelé collimateur, boîtier de protection ou porte-source.

Les jauges à rayonnement bêta consistent généralement en une lourde enveloppe en acier de faible dimension au centre de laquelle est placée la source et comprennent un obturateur simple qui, lorsqu'il est ouvert, laisse apparaître une ouverture par laquelle passe le faisceau de rayonnement.

L'obturateur est généralement cadencé afin d'empêcher tout accès non autorisé et il comprend souvent un mécanisme de commande électromécanique ou pneumatique qui en assure la fermeture automatique lorsque le système de mesure n'est pas en service.

Contexte d'exploitation typique

Les jauges de densité et d'épaisseur à rayonnement bêta sont couramment employées dans les industries de transformation lorsqu'il est nécessaire de mesurer des matériaux se présentant sous la forme de couches minces tels que le papier, les tissus et les films plastiques, ou de mesurer des matériaux de faible densité, par exemple pour la fabrication de cigarettes.

Parfois, la source est acheminée jusqu'au site à l'intérieur du dispositif, dont l'emploi comme conteneur de transport peut également être autorisé.

Lorsque la source est épuisée, elle peut en principe être échangée sur place par du personnel formé, car les niveaux de rayonnement sont relativement faibles.

Sources

Fourchettes d'activité typiques :

Sources de ^{90}Sr : 370 MBq (10 mCi) à 3,7 GBq (100 mCi) ;

Sources de ^{85}Kr : 370 MBq (10 mCi) à 18,5 GBq (500 mCi) ;

Sources de ^{147}Pm : 3,7 GBq (100 mCi) à 18,5 GBq (500 mCi).

5.15. DISPOSITIFS DE MESURE DE LA TENEUR EN HUMIDITÉ DES MATÉRIAUX EN VRAC

Catégorie	3 : Dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	300 à 1000 mm de longueur × 300 à 500 mm de largeur × 300 à 500 mm de hauteur
Fourchette de masse typique	10 à 1000 kg
Applications	Contrôle de processus industriels
Voir figures 75 et 76	

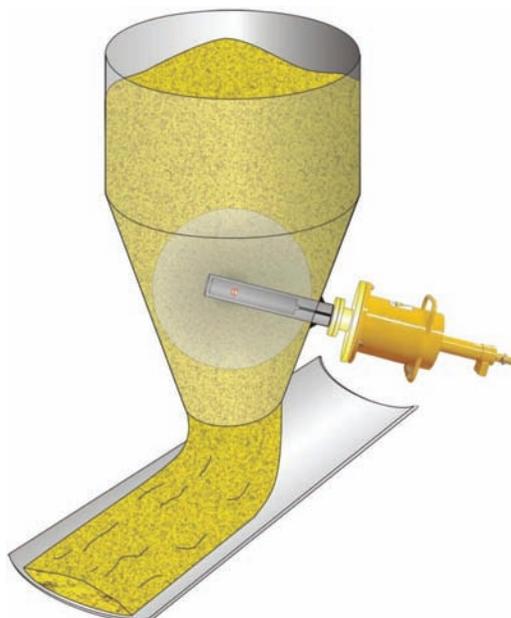


FIG. 75. Schéma d'une sonde d'humidité installée sur un silo contenant des matières en vrac. La source apparaît en rouge à l'intérieur du silo (illustration : Berthold Technologies).



FIG. 76. Dispositif de mesure de la teneur en humidité des matériaux en vrac (photographie : Berthold Technologies).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs permettent de déterminer la quantité d'eau présente dans un matériau sur un convoyeur, dans une canalisation ou dans une trémie ou un silo en mesurant le rayonnement neutronique passant de la source au détecteur. Le rayonnement neutronique étant absorbé ou atténué par les atomes légers (en l'occurrence les atomes d'hydrogène de l'eau), il est possible de déterminer la quantité d'eau présente dans un mélange de matériaux connus en mesurant le rayonnement neutronique transmis à travers ce mélange ou réfléchi par celui-ci.

Le porte-source consiste généralement en une lourde enveloppe d'acier au centre de laquelle la source est placée et en un écran de protection contre les neutrons qui peut être en polyéthylène ou en toute autre matière à forte teneur en hydrogène. Le dispositif comprend un obturateur simple qui, lorsqu'il est ouvert, laisse apparaître une ouverture par laquelle passe le faisceau de rayonnement. Dans la plupart des cas, le détecteur de neutrons est placé dans le même dispositif que la source.

Dans les réservoirs tels que les trémies et les silos, la source et le détecteur sont souvent placés à l'intérieur même du réservoir, dont le contenu protège efficacement la source.

L'obturateur est généralement cadenassé afin d'empêcher tout accès non autorisé et il comprend souvent un mécanisme de commande électromécanique qui en assure la fermeture automatique lorsque le système de mesure n'est pas en service.

Contexte d'exploitation typique

Ces dispositifs sont couramment utilisés dans de nombreuses activités industrielles de transformation pour lesquelles il est nécessaire de mesurer en continu la teneur en humidité de matériaux en vrac tels que le gravier, les copeaux de bois et le charbon en lit fluidisé pour la production d'électricité.

Dans la plupart des cas, la source est acheminée jusqu'au site à l'intérieur du dispositif, dont l'emploi comme conteneur de transport est également autorisé. Dans certains cas, elle est transportée dans un suremballage.

Étant donné que l'on utilise des radionucléides à longue période, il est inhabituel que la source doive être remplacée. Celle-ci est donc habituellement chargée dans le dispositif par le fabricant dans une installation spécialisée et reste dans le dispositif jusqu'à ce que celui-ci soit remplacé ou déclassé par le fabricant.

Sources

Fourchette d'activité typique : 1,8 GBq (50 mCi) à 18,5 GBq (500 mCi) de ²⁴¹Am/Be.

5.16. HUMIDIMÈTRES/DENSIMÈTRES

Catégorie	4 : Peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	Dispositif : 200 mm de longueur × 300 mm de largeur × 1000 mm de hauteur (lorsque la poignée est en position d'utilisation) ; Caisse de transport : 800 mm de longueur × 400 mm de largeur × 300 mm de hauteur
Fourchette de masse typique	Dispositif : 30 kg Dispositif dans la caisse de transport : 40 kg
Applications	Génie civil, construction de routes et agriculture

Voir figures 77 et 78



FIG. 77. Exemple typique d'humidimètre/densimètre avec sa caisse de transport (photographie : Troxler Labs).



FIG. 78. Exemple typique d'humidimètre/densimètre avec sa caisse de transport (photographie : CPN International).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs mettent en oeuvre simultanément deux types de sources de rayonnement : une source de rayonnement gamma de haute énergie (^{137}Cs) d'environ 40 MBq (1 mCi) et une source de neutrons ($^{241}\text{Am/Be}$) d'environ 2 GBq (55 mCi).

Il s'agit de dispositifs portatifs qui sont normalement utilisés pour mesurer la densité et la teneur en humidité des sols et des matériaux de construction. On détermine la densité en mesurant le rayonnement gamma rétrodiffusé, et la teneur en humidité est calculée à partir de cette mesure et de la mesure du rayonnement neutronique rétrodiffusé.

Les sources sont placées à l'intérieur du dispositif dans un étui blindé qui est généralement en plomb et en polyéthylène. Elles sont mises en position d'exposition par l'ouverture d'un obturateur permettant d'envoyer des faisceaux de rayonnement collimatés dans le sol. L'obturateur est verrouillé lorsque le dispositif n'est pas en service.

Contexte d'exploitation typique

Ces dispositifs sont couramment employés dans l'industrie du bâtiment et des travaux publics et l'agriculture dans de nombreux pays. Il s'agit d'appareils portatifs que l'on déplace normalement dans des caisses de transport protégées.

Les sources sont généralement enfermées à l'intérieur de leur étui de protection au moyen de vis inviolables ou d'une fixation permanente et ne sont pas habituellement échangées pendant la durée de vie du dispositif.

Étant donné que ces dispositifs sont utilisés sur des chantiers de construction et des terres agricoles, le risque qu'ils soient perdus ou égarés est relativement élevé. Cependant, leur niveau de dangerosité est très bas parce que les sources sont de faible activité et bien protégées.

Sources

Activité maximale typique :

Sources de ^{137}Cs : 370 MBq (10 mCi) ;

Sources de $^{241}\text{Am/Be}$: 1,9 GBq (50 mCi).

5.17. ANALYSEURS PAR FLUORESCENCE X

Catégorie	5 : Très peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	Appareils hautement portables : 200 mm de longueur × 100 mm de largeur × 100 mm de hauteur ; Appareils de laboratoire et de contrôle de processus : 500 mm de longueur × 500 mm de largeur × 1500 mm de hauteur
Fourchette de masse typique	Appareils hautement portables : 1 à 2 kg Appareils de laboratoire et de contrôle de processus : 20 à 100 kg
Applications	Analyses industrielles
Voir figures 79 à 82	



FIG. 79. Exemple typique d'appareil d'analyse par fluorescence X hautement portable (photographie : Spectro).



FIG. 80. Exemples typiques d'appareils d'analyse par fluorescence X hautement portables (photographie : Thermo).



FIG. 81. Appareil d'analyse par fluorescence X de laboratoire.



FIG. 82. Analyseur par fluorescence X industriel.

Description de l'utilisation

Ces dispositifs sont utilisés pour analyser des matériaux dans le cadre de nombreuses activités industrielles. Lorsqu'un élément est exposé à un rayonnement d'énergie connue, il est absorbé, et un spectre unique de rayons X secondaires est émis par cet élément. L'analyse de ce spectre permet de déterminer avec exactitude la composition du matériau.

Différents isotopes sont utilisés pour détecter différents éléments, car plus le numéro atomique de l'élément à détecter est grand, plus l'énergie du rayonnement primaire doit être élevée.

La source est placée dans un étui blindé à l'intérieur du dispositif. Pour la mettre en position d'exposition, on ouvre un obturateur qui permet de diriger des faisceaux de rayonnement collimatés sur les matériaux à analyser. L'obturateur est verrouillé lorsque le dispositif n'est pas en service.

Le détecteur se trouve normalement dans le même dispositif que la source et l'appareillage électronique d'analyse du spectre de rayons X secondaires qui permet d'identifier les matériaux étudiés.

Contexte d'exploitation typique

Il existe plusieurs types de dispositifs destinés à différents usages. Leurs principales applications sont les suivantes :

- Analyse d'alliages pour la vérification des stocks, le tri des métaux de récupération et le contrôle de composants ;
- Industrie extractive : analyse des matériaux extraits des mines, ainsi que des carottes, des éclats et des boues de forage ;
- Analyse de solutions de galvanoplastie ;
- Analyses chimiques générales en laboratoire ;
- Mesure de la teneur en plomb de peintures anciennes afin de déterminer le niveau de protection personnelle éventuellement nécessaire avant de procéder à leur élimination.

Nombre de dispositifs, par exemple ceux utilisés pour l'analyse de la peinture et des métaux de récupération, sont hautement portables, alors que d'autres peuvent être fixés sur des canalisations ou des convoyeurs, ou être installés dans des laboratoires d'analyse.

Les dispositifs portables peuvent aussi avoir une caisse de transport qui permet de les déplacer et de les entreposer de façon sûre.

Les sources sont généralement enfermées à l'intérieur de leur étui de protection au moyen de vis inviolables ou d'une fixation permanente. Celles qui équipent les appareils portables ou hautement portables ne sont pas en principe échangées par l'utilisateur, les appareils étant renvoyés au fabricant lorsqu'il est nécessaire de les réviser et d'échanger la source.

Étant donné la façon dont les dispositifs portables ou hautement portables sont utilisés, le risque qu'ils soient perdus ou égarés est relativement élevé. Cependant, leur niveau de dangerosité est très bas parce que les sources sont de faible activité et bien protégées.

Les sources fixes ou installées dans des dispositifs de laboratoire peuvent être remplacées par des techniciens de maintenance formés lorsqu'elles sont épuisées.

Sources

Activité maximale typique :

- Sources de ^{241}Am : 1,85 GBq (50 mCi) ;
- Sources de ^{244}Cm : 3,7 GBq (100 mCi) ;
- Sources de ^{109}Cd : 1,85 GBq (50 mCi) ;
- Sources de ^{55}Fe : 740 MBq (20 mCi).

5.18. APPAREILS DE CURIETHÉRAPIE À CHARGEMENT DIFFÉRÉ TÉLÉCOMMANDÉ

Catégorie	2 : Très dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Dispositif : 300 à 600 mm de longueur × 300 à 600 mm de largeur × 800 à 1500 mm de hauteur
Fourchette de masse typique	50 à 250 kg
Applications	Radiothérapie
Voir figures 83 à 88	



FIG. 83. Appareil moderne de curiethérapie (^{192}Ir) à chargement différé télécommandé (photographie : Nucletron).



FIG. 84. Appareil moderne de curietherapie (^{192}Ir) à chargement différé télécommandé (photographie : Nuclétron).

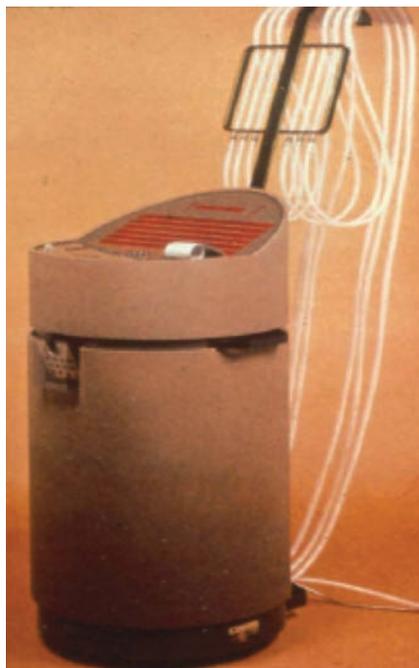


FIG. 85. Appareil moderne de curietherapie (^{137}Cs) à chargement différé télécommandé auquel sont reliés les cathéters de positionnement des sources.



FIG. 86. Conteneur-échangeur de sources pour appareil de curietherapie ^{192}Ir à chargement différé télécommandé (photographie : Nuclétron).



FIG. 87. Appareil moderne de curietherapie ^{137}Cs à chargement différé télécommandé (photographie : Seedos/Bebig).



FIG. 88. Conteneur destiné à l'entreposage et au transport de sources de ^{137}Cs (photographie : Seedos/Bebig).

Description de l'utilisation

Ces dispositifs utilisent généralement des sources de ^{137}Cs , ^{192}Ir ou ^{60}Co multiples de dimensions très réduites (les plus petites n'ayant qu'environ 1 mm de diamètre) qui sont transportées automatiquement de leur conteneur de protection jusqu'au site d'une tumeur au moyen d'un cathéter qu'un oncologue a préalablement mis en place de façon précise. Une dose de rayonnement peut ensuite être administrée à distance directement sur ce site, ce qui permet de maximiser la dose à la tumeur, de réduire au minimum la dose aux tissus sains du patient et de protéger totalement le personnel médical. De tels dispositifs sont utilisés dans de nombreux services hospitaliers de cancérothérapie dans le monde entier.

Les sources radioactives proprement dites sont entreposées dans un conteneur blindé à l'intérieur de l'appareil de curiethérapie. Le cathéter est mis en place sur le site de la tumeur sans qu'aucune source radioactive ne soit chargée, et son positionnement correct peut être confirmé par radiographie.

Une fois que le cathéter a été mis en place, il est relié à l'appareil de curiethérapie, qui envoie à l'aide d'un dispositif pneumatique le nombre correct de sources sur le site à traiter. À la fin du cycle de traitement, les sources sont renvoyées dans le conteneur de stockage à l'intérieur de la machine.

Contexte d'exploitation typique

Les appareils de curiethérapie sont couramment utilisés dans les services hospitaliers d'oncologie dans le monde entier. L'appareil proprement dit est exploité à l'intérieur d'une installation blindée afin d'éviter l'exposition du personnel médical, et l'accès à cette installation est normalement soumis à un contrôle strict. L'appareil est monté sur des roues et peut être entreposé dans une zone à accès restreint et introduit dans la zone de traitement uniquement lorsqu'il doit être utilisé.

Les sources épuisées sont remplacées périodiquement par des techniciens de maintenance formés. Elles sont déchargées dans un conteneur portable spécial qui sert également à réapprovisionner l'appareil en sources neuves. Le conteneur porte-sources complet peut aussi être retiré de l'appareil avec les sources à l'intérieur et être utilisé comme conteneur de transport.

Le conteneur est utilisé pour transporter les sources entre les locaux du fabricant et l'hôpital où se trouve l'appareil.

Généralement, les sources sont très petites (moins de 5 mm de diamètre), et il se peut qu'elles soient dépourvues du symbole de la radioactivité ou d'autres marques d'identification.

Sources

Activité typiques :

^{192}Ir : jusqu'à 20 sources ayant chacune une activité allant jusqu'à 500 GBq (14 Ci) ;

^{137}Cs : jusqu'à 40 sources ayant chacune une activité allant jusqu'à 1,5 GBq (40 mCi) ;

^{60}Co : jusqu'à 40 sources ayant chacune une activité allant jusqu'à 1,5 GBq (40 mCi).

5.19. ÉLIMINATEURS DE CHARGES STATIQUES

Catégorie	4 : Peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	Barres : jusqu'à 2000 mm de longueur × 30 mm de largeur × 10 mm d'épaisseur ; Pistolets : 30 mm de diamètre × 80 mm de longueur
Fourchette de masse typique	Barres : jusqu'à 2 kg ; Pistolets : jusqu'à 500 g

Applications

Industries de transformation, fabrication du papier et de feuilles de plastique, peinture au pistolet et fabrication de matériel électronique

Voir figures 89 à 91



FIG. 89. Exemple typique de barre antistatique (photographie : Oak Ridge Associated Universities).



FIG. 90. Exemple typique de pistolet antistatique à air (photographie : Oak Ridge Associated Universities).



FIG. 91. Barres antistatiques (photographie : NRC).

Description de l'utilisation

Ce type de dispositif utilise du ^{210}Po incorporé à une fine feuille de métal précieux pur enroulée.

Il existe deux principaux types d'éliminateurs de charges statiques : les barres et les pistolets. Les barres émettent un « nuage » de particules alpha jusqu'à une distance d'environ 8 cm qui a pour effet d'ioniser le gaz (l'air) environnant, ce qui permet d'éliminer lentement en toute sécurité par mise à la terre les charges statiques éventuelles des matériaux proches. Les pistolets ionisent l'air provenant des dispositifs pneumatiques sur lesquels ils sont montés. Le jet d'air qu'ils produisent peut être utilisé pour dépoussiérer des objets et les débarrasser de leurs charges statiques qui attirent la poussière.

Dans le cas des barres antistatiques, la feuille se trouve à l'intérieur d'une enveloppe en métal protégée par une grille qui permet à l'air de circuler librement ; dans le cas des pistolets, elle se trouve à l'intérieur d'un tube en métal qui fait partie de la conduite d'air et de la poignée.

Contexte d'exploitation typique

Les barres antistatiques étaient auparavant très employées dans la fabrication de tout produit sous forme de bande lorsque l'accumulation de charges statiques posait un problème ou constituait un risque d'incendie. Les pistolets étaient utilisés pour des applications en salle blanche telles que la fabrication de produits électroniques ou pour les travaux de peinture de haute qualité.

Au cours des 10 dernières années, leur nombre a beaucoup diminué en raison de l'amélioration des appareils antistatiques à alimentation électrique.

Les barres antistatiques sont normalement montées en travers de l'unité de production, à proximité du passage du produit sous forme de bande, dans lequel les charges statiques s'accumulent. Les pistolets antistatiques sont utilisés dans des salles blanches et des ateliers de peinture et devraient être entreposés dans un local fermé à clef lorsqu'ils ne sont pas en service.

La période du ^{210}Po étant relativement courte (20 semaines), les dispositifs sont généralement remplacés une fois par an sur la base d'un contrat de services passé avec le fournisseur initial.

Les dispositifs sont transportés dans des emballages industriels normaux tels que des boîtes en carton ou en plastique rigides.

Sources

Activité typique :

Barres antistatiques : jusqu'à 2 GBq (55 mCi) de ^{210}Po à l'état neuf ;

Pistolets antistatiques : jusqu'à 370 MBq (10 mCi) de ^{210}Po à l'état neuf.

5.20. PARATONNERRES RADIOACTIFS

Catégorie	5 : Très peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	100 à 300 mm de diamètre × 500 à 1000 mm de longueur
Fourchette de masse typique	2 à 10 kg
Applications	Protection des bâtiments contre la foudre
Voir figures 92 et 93	



FIG. 92. Exemple de paratonnerre radioactif.



FIG. 93. Exemples de paratonnerres radioactifs.

Description de l'utilisation

De petites sources radioactives étaient autrefois fixées sur les paratonnerres. On pensait que ces sources provoqueraient l'ionisation de l'air à proximité du paratonnerre et que cela accroîtrait l'efficacité de celui-ci. Divers types de sources auraient été utilisés, notamment des sources alpha de ^{226}Ra et ^{241}Am ainsi que des sources gamma de ^{69}Eu et ^{60}Co .

L'inefficacité des paratonnerres radioactifs ayant été établie dans les années 1970, la plupart ne sont plus en service.

Contexte d'exploitation typique

Les paratonnerres radioactifs ont été utilisés dans le monde entier principalement pour protéger des bâtiments dans lesquels se trouvaient des matières dangereuses. Dans certains pays, ils ont également été installés sur de nombreux bâtiments publics tels que des églises.

Depuis 1970, la plupart des pays ont entrepris de retirer les paratonnerres radioactifs du service.

Sources

Activité typique :

^{241}Am : jusqu'à 1,1 GBq (30 mCi) ;

^{226}Ra : jusqu'à 1,1 GBq (30 mCi).

5.21. PANNEAUX AUTOLUMINEUX

Catégorie	5 : Très peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	Jusqu'à 600 mm de longueur × 200 mm de largeur × 100 mm d'épaisseur
Fourchette de masse typique	1 à 10 kg
Applications	Panneaux de sortie autolumineux dans les bâtiments publics
Voir figures 94 et 95	



FIG. 94. Exemples de panneaux autolumineux.



FIG. 95. Composition d'un panneau autolumineux.

Description de l'utilisation

Les panneaux autolumineux utilisent un mélange gazeux émetteur bêta contenant du tritium (^3H) confiné dans un tube de verre dont l'intérieur est revêtu de phosphore. Le phosphore émet de la lumière visible lorsqu'il interagit avec une particule bêta.

Le gaz est confiné dans le tube de verre, et la lumière est produite en permanence. Comme ils ne requièrent aucune alimentation électrique, ces panneaux constituent la solution idéale pour les affichages de sécurité qui peuvent être nécessaires dans les bâtiments en cas de panne de réseau.

Aucun rayonnement ne traverse la paroi du tube de verre, et si celui-ci est brisé, le tritium gazeux se disperse dans des zones bien ventilées.

Contexte d'exploitation typique

Ces dispositifs sont largement utilisés dans les bâtiments publics et les avions.

Sources

^3H : jusqu'à 740 GBq (20 Ci).

5.22. DÉTECTEURS DE FUMÉE

Catégorie	5 : Très peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	100 à 150 mm de diamètre × 15 à 30 mm de hauteur
Fourchette de masse typique	100 à 300 g
Applications	Détection de fumée dans les habitations et les établissements industriels
Voir figures 96 à 98	



FIG. 96. Exemple typique de détecteur de fumée (vue arrière).



FIG. 97. Exemple typique de détecteur de fumée (vue avant).

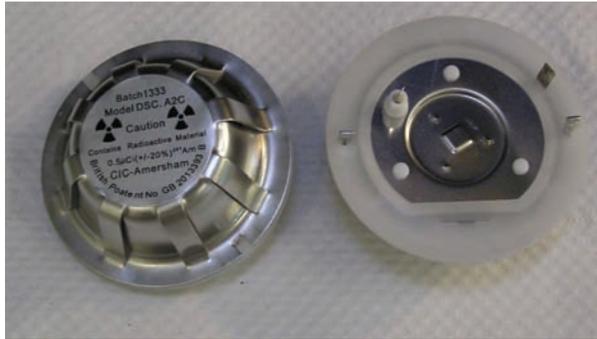


FIG. 98. Exemple typique de chambre d'ionisation contenant le composant radioactif d'un détecteur de fumée domestique (photographie : QSA-Global).

Description de l'utilisation

Les détecteurs de fumée radioactifs contiennent une très petite source de ^{241}Am émettrice de rayonnement alpha qui ionise l'air contenu dans une chambre à l'intérieur de laquelle deux plaques sont soumises à une différence de tension constante. L'air ainsi ionisé permet à un courant constant de circuler entre ces plaques. Si de la fumée pénètre dans la chambre, elle absorbe le rayonnement et l'ionisation de l'air diminue. Il en résulte une réduction du courant circulant entre les deux plaques qui a pour effet de déclencher une alarme.

Contexte d'exploitation typique

Les détecteurs de fumée radioactifs sont largement utilisés un peu partout dans les habitations, les bureaux et les usines.

Ces dispositifs sont fournis avec leur source radioactive à l'intérieur et ils la conservent pendant toute leur durée de vie.

Lorsque le détecteur de fumée est remplacé, l'activité de la source est suffisamment faible pour que le dispositif puisse être éliminé avec les ordures ménagères, si la réglementation le permet.

Sources

Activité typique :

^{241}Am : jusqu'à 37 kBq (1 μCi) ;

Sources épuisées anciennes de ^{226}Ra ou de ^{239}Pu : jusqu'à 2,5 MBq (70 μCi).

6. EXEMPLES DE SOURCES RADIOACTIVES

6.1. SOURCES DE COBALTOTHÉRAPIE

Catégorie	1 : Extrêmement dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Cylindre de 20 mm de diamètre × 30 mm de longueur
Activité typique à l'état neuf	^{60}Co : jusqu'à 550 TBq (15 kCi)
Applications	Radiothérapie
Voir figures 99 à 101	



FIG. 99. Source de cobalthérapie dans un porte-source en tungstène (photographie : Oak Ridge Associated Universities).



FIG. 100. Capsule-source pour scalpel gamma (photographie : Elekta).



FIG. 101. Diverses sources de cobalthérapie avec les accessoires nécessaires pour leur chargement dans la tête de téléthérapie (photographie : REVISS Services (UK) Ltd).

Description de l'utilisation

Ces sources sont utilisées presque exclusivement par les services de téléthérapie des hôpitaux et dans les scalpels gamma. Elles sont également utilisées dans certains laboratoires de radiométrie pour des mesures d'étalonnage et sont normalement conservées en permanence dans des dispositifs similaires à des têtes de téléthérapie.

Étant donné qu'elles ont une forte énergie et qu'elles émettent généralement un rayonnement de haute activité, ces sources sont potentiellement dangereuses. Même une exposition de courte durée peut entraîner une dose d'irradiation mortelle.

Les sources ne peuvent être manipulées que par des opérateurs spécialement formés qui sont familiarisés avec elles ainsi qu'avec les dispositifs dans lesquels elles sont installées. Du matériel de protection spécial est nécessaire.

Les sources consistent en des pastilles de cobalt encapsulées dans une double enveloppe en acier inoxydable, qui ont été traitées dans des réacteurs nucléaires pour produire le radio-isotope ^{60}Co .

Les sources sont produites sous deux ou trois tailles standard et peuvent être montées avec des entretoises en tungstène à l'intérieur de la tête de téléthérapie.

6.2. SOURCES GAMMA ^{60}Co DE STÉRILISATION

Catégorie	1 : Extrêmement dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Généralement 11 mm de diamètre \times 450 mm de longueur
Activité typique à l'état neuf	^{60}Co : jusqu'à 440 TBq (12 kCi)
Applications	Stérilisation industrielle et irradiation à des fins de recherche
Voir figures 102 à 104	



FIG. 102. Exemples typiques de sources de stérilisation industrielle ; les pastilles de cobalt métalliques sont visibles en bas à gauche (photographie : REVISS). Dimensions approximatives : 11 mm de diamètre \times 450 mm de longueur ; activité typique à l'état neuf : 444 TBq (12 kCi) de ^{60}Co .



FIG. 103. Exemple typique de source de stérilisation industrielle (photographie : REVISS). Dimensions approximatives : 35 mm de diamètre \times 720 mm de longueur ; activité typique à l'état neuf : 1,85 PBq (50 kCi) de ^{60}Co .



FIG. 104. Assortiment de sources de ^{60}Co destinées à des irradiateurs (photographie : REVISS).

Description de l'utilisation

Ces sources sont utilisées dans des installations industrielles permanentes de stérilisation par rayonnement gamma, c'est-à-dire dans des bâtiments spécialement conçus pour les accueillir, qui comprennent une grande salle de stérilisation dans laquelle le produit à traiter est soumis à une dose d'irradiation contrôlée, généralement dans le but de tuer les bactéries.

Elles sont également utilisées dans de petits irradiateurs, le plus souvent dans des laboratoires de recherche, à des fins expérimentales.

Étant donné qu'elles ont une forte énergie et qu'elles émettent généralement un rayonnement de haute activité, ces sources sont potentiellement dangereuses. Même une exposition de courte durée à une source épuisée peut entraîner une dose d'irradiation mortelle.

Les sources doivent être manipulées uniquement par des opérateurs spécialement formés, qui sont familiarisés avec elles ainsi qu'avec le dispositif ou l'installation d'irradiation dans lesquels elles sont utilisées. Du matériel de protection spécial est nécessaire.

Les sources sont généralement constituées de pastilles de cobalt encapsulées dans une double enveloppe externe en acier inoxydable, qui ont été traitées dans des réacteurs nucléaires pour produire le radio-isotope ^{60}Co .

La source gamma ^{60}Co de stérilisation la plus répandue est le modèle Nordion C188, REVISS RSL2089, qui est utilisé par les installations industrielles d'irradiation du monde entier. Des sources de dimensions similaires sont produites par un certain nombre d'autres fabricants, et il existe également divers autres modèles qui sont utilisés à la fois dans des irradiateurs industriels et des irradiateurs à petite échelle.

6.3. SOURCES ^{90}Sr POUR GÉNÉRATEURS THERMOÉLECTRIQUES RADIOISOTOPIQUES

Catégorie	1 : Extrêmement dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Jusqu'à 100 mm de diamètre × 200 mm de longueur
Activité typique à l'état neuf	^{90}Sr : jusqu'à 1,85 PBq (50 kCi)
Applications	Générateurs thermoélectriques radioisotopiques

Description de l'utilisation

Comme il est indiqué dans la section 5.7, ces sources sont utilisées dans des générateurs thermoélectriques radioisotopiques.

Elles sont chargées et scellées à l'intérieur des générateurs et ne devraient pas être retirées pendant la durée de vie de ceux-ci.

Étant donné qu'elles ont une forte énergie et qu'elles émettent généralement un rayonnement de haute activité, ces sources sont potentiellement dangereuses, et même une exposition de courte durée peut entraîner une dose d'irradiation mortelle. Elles émettent principalement des rayons bêta, dont la portée est relativement courte, mais elles produisent également une quantité importante de rayonnement gamma de freinage secondaire.

Les sources doivent être manipulées dans une installation fortement blindée uniquement par des opérateurs spécialement formés.

Elles consistent généralement en des pastilles de carbonate de strontium encapsulées dans une double enveloppe en acier inoxydable.

6.4. SOURCES DE GAMMAGRAPHIE INDUSTRIELLE

Catégorie	2 : Très dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Source : jusqu'à 7 mm de diamètre × 15 mm de longueur ; Flexible : jusqu'à 200 mm de longueur
Activité typique à l'état neuf	^{192}Ir : 5,5 TBq (150 Ci) ^{75}Se : 2,9 TBq (80 Ci) ^{169}Yb : 740 GBq (20 Ci) ^{60}Co : 3,7 TBq (100 Ci) ^{137}Cs : 370 GBq (10 Ci)

Applications
Voir figures 105 à 107

Radiographie industrielle



FIG. 105. Exemples typiques d'assemblages (source/flexible) de gammagraphie anciens (photographie : Oak Ridge Associated Universities).



FIG. 106. Exemple typique d'assemblage (source/flexible) de gammagraphie moderne (photographie : QSA-Global).



FIG. 107. Exemple typique de capsule-source de gammagraphie avant son intégration au flexible (photographie : MAYAK P.A.).

Description de l'utilisation

Ces sources sont utilisées dans les dispositifs de gammagraphie (voir sections 5.10 et 5.11).

Elles sont généralement fixées à un câble flexible de faible longueur (appelé « pigtail » en anglais) muni d'un raccord, avec lequel elles peuvent être reliées à un câble de télécommande, qui permet de les extraire du dispositif et de les mettre en place pour réaliser une radiographie.

Les sources consistent généralement en une ou plusieurs pastilles de matière active sous forme métallique encapsulées dans une double enveloppe en acier inoxydable.

Il s'agit le plus souvent de sources de ^{192}Ir , mais des sources de ^{60}Co , ^{75}Se et ^{169}Yb sont également utilisées. Elles ont toutes un aspect similaire.

6.5. SOURCES À CHARGEMENT DIFFÉRÉ TÉLÉCOMMANDÉ POUR CURIETHÉRAPIE À HAUT DÉBIT DE DOSE

Catégorie	2 : Très dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Voir le commentaire ci-après
Activité typique à l'état neuf	^{192}Ir : jusqu'à 370 GBq (10 Ci) ; ^{137}Cs : jusqu'à 1,5 GBq (40 mCi) ; ^{60}Co : jusqu'à 1,5 GBq (40 mCi)
Applications	Radiothérapie
Voir figure 108	



FIG. 108. Source utilisée en curiethérapie à haut débit de dose.

Ces sources sont utilisées dans des dispositifs de curiethérapie à haut débit de dose (voir section 5.18).

^{192}Ir est généralement le radio-isotope utilisé. La source, dont le diamètre est réduit au minimum afin d'optimiser les options de traitement, est fixée à un flexible qui permet à l'appareil à chargement différé télécommandé de la positionner sur des sites de traitement préprogrammés.

Les sources consistent habituellement en une section de câble en ^{192}Ir irradié, qui est encapsulée dans un tube métallique soudé, lequel est lui-même soudé au flexible.

Les systèmes de curiethérapie à haut débit de dose relativement anciens utilisent d'autres sources miniatures de ^{60}Co , ^{137}Cs ou ^{192}Ir . Ces sources sont souvent sphériques et elles sont positionnées sur les sites à traiter au moyen de cathéters reliés à un système pneumatique. Elles ressemblent à des billes de roulements.

En général, les sources de curiethérapie à chargement différé télécommandé ne présentent aucune marque d'identification visible.

On estime que ces sources, étant donné leur petite taille et l'absence de marques distinctives, peuvent être facilement perdues, en particulier si elles se trouvent dans du matériel déclassé.

Dimensions approximatives :

Sources modernes de ^{192}Ir : jusqu'à 3 mm de diamètre \times 15 mm de longueur ; flexible : jusqu'à 300 mm de longueur ;

Sources de ^{60}Co ou de ^{137}Cs anciennes : sphère de 3 mm de diamètre.

6.6. SOURCES GAMMA DE HAUTE ÉNERGIE POUR JAUGES INDUSTRIELLES

Catégorie	3 : Dangereuses en l'absence de contrôle approprié et 4 : Peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques Fourchettes d'activité typiques à l'état neuf	3 à 12 mm de diamètre \times 5 à 15 mm de longueur ^{137}Cs : 370 MBq (10 mCi) à 370 GBq (10 Ci) ; ^{60}Co : 37 MBq (1 mCi) à 37 GBq (1 Ci)
Applications	Jauges industrielles et mesure de la densité des sols
Voir figures 109 à 112	



FIG. 109. Diverses sources gamma de haute énergie (photographie : QSA-Global).



FIG. 110. Exemple typique de source gamma ^{60}Co (photographie : MAYAK P.A.).



FIG. 111. Exemple typique de source gamma ^{137}Cs (photographie : MAYAK P.A.).



FIG. 112. Source de jauge gamma ^{226}Ra ancienne avec son porte-source.

Description de l'utilisation

Ces sources sont utilisées dans des dispositifs fixes dans de nombreuses applications industrielles, par exemple pour effectuer des mesures d'épaisseur ou de densité ou déterminer le niveau de produits en vrac. Ces dispositifs, qui sont généralement classés dans les catégories 3 ou 4, sont décrits dans la section 5.12.

Ce type de source est également utilisé dans des dispositifs portables permettant de mesurer à la fois l'humidité et la densité des sols. Ces dispositifs, qui sont décrits dans la section 5.16, sont généralement classés dans la catégorie 4.

Ces sources émettent un rayonnement gamma de haute énergie, dont on mesure l'atténuation ou la rétrodiffusion par le milieu étudié.

Les radio-isotopes normalement utilisés sont ^{60}Co et, plus souvent encore, ^{137}Cs . Les sources sont habituellement encapsulées dans une double enveloppe soudée en acier inoxydable. La matière radioactive se présente sous la forme de pastilles métalliques (^{60}Co) ou d'une matière céramique non lixiviable (^{137}Cs). Un certain nombre de sources de ^{226}Ra ont été produites, mais on pense que la plupart ont été retirées du service.

Les sources sont confinées dans des dispositifs lourdement blindés, et un outillage spécialisé est généralement nécessaire pour y accéder.

Elles sont habituellement transportées d'un lieu d'utilisation à l'autre à l'intérieur du dispositif dans lequel elles sont utilisées, mais dans certains cas, elles peuvent être montées sur place par des techniciens dûment formés et qualifiés.

La plupart des sources sont des capsules cylindriques qui ne présentent aucune autre caractéristique particulière. Dans certains cas, elles peuvent comporter un filetage ou d'autres caractéristiques destinées à en faciliter la manutention.

Des sources de même taille peuvent avoir une fourchette d'activité très large. Par exemple, l'activité de sources de jauges au ^{137}Cs se présentant sous la forme de capsules de taille similaire peut aller de 370 MBq (10 mCi) à 370 GBq (10 Ci), selon l'application. L'activité de la source n'est pas toujours inscrite sur la capsule en raison de la décroissance radioactive.

Les appareils portables de mesure de l'humidité et de la densité des sols utilisent une source d'environ 370 MBq (10 mCi).

D'autres isotopes peuvent être occasionnellement utilisés dans des jauges à rayonnement gamma de haute énergie, par exemple ^{134}Cs et ^{133}Ba .

6.7. SOURCES NEUTRONIQUES POUR JAUGES INDUSTRIELLES

Catégorie	3 : Dangereuses en l'absence de contrôle approprié et 4 : Peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	8 à 20 mm de diamètre × 12 à 30 mm de longueur
Fourchettes d'activité typiques à l'état neuf	$^{241}\text{Am/Be}$: 1,85 GBq (50 mCi) à 185 GBq (5 Ci) ; ^{252}Cf : 72 MBq (2 mCi) à 720 MBq (20 mCi)
Applications	Jauges industrielles et mesure de l'humidité des sols
Voir figure 113	



FIG. 113. Exemple typique de source de neutrons $^{241}\text{Am/Be}$ (photographie : MAYAK P.A.)

Description de l'utilisation

Ce type de source est utilisé dans des dispositifs fixes dans de nombreuses applications industrielles pour mesurer la teneur en humidité de matériaux en vrac. Ces dispositifs, qui sont décrits dans la section 5.15, sont habituellement classés dans la catégorie 3.

Ces sources sont également utilisées dans des dispositifs portables permettant de mesurer à la fois l'humidité et la densité des sols, comme il est indiqué dans la section 5.16. Ces dispositifs sont généralement classés dans la catégorie 4.

Elles sont souvent utilisées conjointement avec une source de rayons gamma, qui permet d'effectuer des mesures de densité.

Ces sources émettent des neutrons, et le rayonnement neutronique rétrodiffusé est mesuré afin de déterminer la teneur en humidité.

Elles sont généralement constituées d'un mélange $^{241}\text{Am}/\text{Be}$. En raison de son interaction avec les particules alpha résultant de la décroissance de l'américium 241, le béryllium produit un rayonnement neutronique secondaire.

Certaines sources utilisent l'isotope ^{252}Cf , qui émet des neutrons par fission spontanée.

Les sources sont habituellement encapsulées dans une double enveloppe en acier inoxydable. La matière radioactive se présente sous la forme d'une pastille en oxyde d'américium 241 et en béryllium métallique relativement solide et non lixiviable.

Les sources sont généralement confinées dans des dispositifs protégés, et un outillage spécialisé est normalement nécessaire pour y accéder. La protection consiste le plus souvent en un matériau à haute teneur en hydrogène et n'est donc pas aussi dense qu'un blindage neutronique.

Lorsqu'il s'agit de mesurer des matériaux en vrac (par exemple dans des trémies), la source est souvent placée à l'intérieur de la trémie, dont le contenu assure une protection efficace contre les rayonnements.

Ces sources sont habituellement transportées d'un lieu d'utilisation à l'autre à l'intérieur du dispositif dans lequel elles sont utilisées, mais dans certains cas, elles sont montées sur place par des techniciens dûment formés et qualifiés.

La plupart des sources sont des capsules cylindriques qui ne présentent aucune autre caractéristique particulière. Dans certains cas, elles peuvent comporter un filetage ou d'autres caractéristiques destinées à en faciliter la manutention.

La plupart des appareils de mesure du rayonnement gamma, de même que les dosimètres personnels, ne réagissent pas au rayonnement neutronique,

dont la mesure nécessite du matériel spécial. Il convient, par ailleurs, de noter que le matériel de mesure du rayonnement neutronique réagit lentement.

Des sources de même taille peuvent avoir une fourchette d'activité très large. Par exemple, l'activité de sources de jauges $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ se présentant sous la forme de capsules de taille similaire peut aller de 3,7 GBq (100 mCi) à 185 GBq (5 Ci), selon l'application. Des sources-capsules ^{252}Cf qui ne mesurent que 6 mm de diamètre et 12 mm de longueur peuvent avoir des débits de doses extrêmement élevés.

Les appareils portables de mesure de l'humidité des sols utilisent des sources $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ d'environ 1,85 GBq (50 mCi).

6.8. SOURCES GAMMA ET NEUTRONIQUES DE DIAGRAPHIE PÉTROLIÈRE

Catégorie	3 : Dangereuses en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Sources gamma : 8 à 20 mm de diamètre × 12 à 30 mm de longueur ; Sources de neutrons : 20 à 30 mm de diamètre × 50 à 150 mm de longueur
Fourchettes d'activité typiques à l'état neuf	Sources gamma : ^{137}Cs : 37 GBq (1 Ci) à 111 GBq (3 Ci) ; Sources de neutrons : $^{241}\text{Am}/\text{Be}$: 185 GBq (5 Ci) à 740 GBq (20 Ci)
Applications	Prospection et extraction du pétrole
Voir figures 114 et 115	

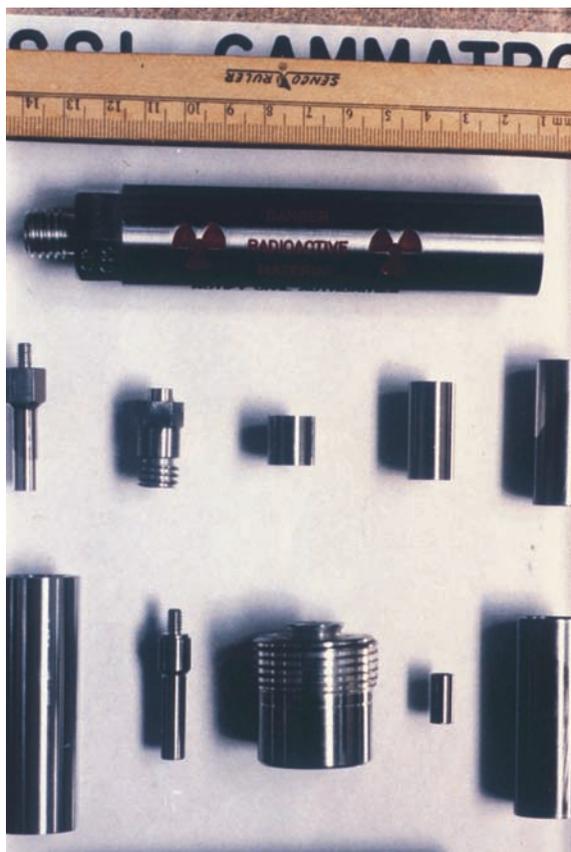


FIG. 114. Assortiment de sources $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ et ^{137}Cs utilisées en diagraphie pétrolière (photographie : NRC).



FIG. 115. Exemple typique de source $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ de diagraphie pétrolière fixée à une tête de sonde (photographie : NRC).

Description de l'utilisation

Les sources gamma utilisent presque toujours l'isotope ^{137}Cs , et les sources de neutrons un mélange $^{241}\text{Am}/\text{Be}$.

Les sources de ce type sont largement utilisées dans l'industrie du pétrole. Elles sont transportées par les entreprises prestataires de services de diagraphie, et on peut en rencontrer dans les bases opérationnelles des sociétés ainsi que sur les sites de forages pétroliers. Elles sont entreposées dans des locaux sécurisés.

Habituellement, la source proprement dite est confinée dans une capsule cylindrique soudée à double paroi en acier inoxydable très résistante similaire à celles décrites dans les sections 6.6 et 6.7. La substance radioactive est un matériau céramique non lixiviable contenant du césium 137, dans le cas des sources gamma, et une pastille résistante et non lixiviable contenant un mélange d'oxyde d'américium 241 et de béryllium métallique, dans le cas des sources de neutrons.

Les capsules comportent souvent un filetage ou d'autres caractéristiques permettant de les assujettir à l'intérieur des têtes de sonde.

À titre de mesure de protection supplémentaire, les sources sont généralement chargées dans une tête de sonde, comme il est indiqué dans les sections 5.8 et 5.9. Retirer une source de la tête de sonde serait une opération extrêmement inhabituelle, qui ne pourrait être effectuée que dans des installations de manipulation spécialisées par du personnel formé.

6.9. SOURCES DE FAIBLE ÉNERGIE POUR JAUGES INDUSTRIELLES FIXES

Catégorie	4 : Peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	10 à 50 mm de diamètre × 7 à 15 mm de hauteur
Fourchettes d'activité typiques à l'état neuf	^{241}Am : 370 MBq (10 mCi) à 74 GBq (2 Ci) ; ^{90}Sr : 370 MBq (10 mCi) à 7,4 GBq (200 mCi) ; ^{85}Kr : 370 MBq (10 mCi) à 7,4 GBq (200 mCi)
Applications	Jauges industrielles
Voir figures 116 à 119	



FIG. 116. Source bêta ^{90}Sr vue du dessus (côté soudé) et du dessous (côté de la fenêtre) (photographie : QSA-Global).



FIG. 117. Source bêta ^{85}Kr vue du côté de la fenêtre (photographie : QSA-Global).



FIG. 118. Sources bêta ^{85}Kr bêta en position fermée (avec le couvercle de protection en laiton) et ouverte (sans le couvercle) (photographie : QSA-Global).



FIG. 119. Vue du côté soudé d'une source gamma ^{241}Am de faible énergie étendue (diamètre : environ 40 mm) (photographie : QSA-Global).

Description de l'utilisation

Ces sources sont utilisées dans des jauges fixes dans de nombreuses applications industrielles pour mesurer des épaisseurs, des densités ou des niveaux de remplissage, comme il est indiqué dans les sections 5.13 et 5.14.

Les sources de ce type émettent des rayonnements bêta ou des rayonnements gamma de faible énergie. L'atténuation du rayonnement à travers le milieu étudié est mesurée. On choisit le type de rayonnement en fonction de l'épaisseur ou de la densité du milieu à mesurer.

Les sources gamma utilisent habituellement ^{241}Am et les sources bêta ^{90}Sr ou ^{85}Kr . Généralement, elles se présentent sous la forme de capsules cylindriques de faible hauteur en acier inoxydable. La capsule consiste en une seule enveloppe soudée. Une des extrémités de la capsule, appelée « fenêtre », est extrêmement fine et sensible afin de permettre la transmission du rayonnement. Les sources doivent être manipulées avec précaution afin d'éviter d'endommager la fenêtre. La substance radioactive est un matériau céramique non lixiviable, dans le cas des sources de ^{90}Sr et ^{241}Am , et elle est sous forme gazeuse, dans le cas des sources de ^{85}Kr .

Les sources sont habituellement confinées dans des dispositifs fortement blindés, leur fenêtre mince étant assujettie à la chaîne de production. Des outils spécialisés sont normalement nécessaires pour y accéder.

Elles peuvent être transportées d'un lieu d'utilisation à l'autre à l'intérieur du dispositif dans lequel elles sont utilisées, mais elles sont souvent montées sur place par des techniciens dûment formés et qualifiés.

Étant donné la faible énergie du rayonnement gamma et la faible transmission du rayonnement bêta, le rayonnement est émis presque exclusivement par la fenêtre de la source. L'émission de rayonnement peut être réduite au minimum en couvrant la fenêtre de la source au moyen d'un matériau de faible densité (par exemple 1 cm de Plexiglas).

La plupart des sources sont des capsules cylindriques qui ne présentent aucune autre caractéristique particulière.

D'autres isotopes peuvent être occasionnellement utilisés dans les jauges bêta et gamma de faible énergie, par exemple ^{147}Pm .

6.10. MICROSOURCES DE CURIETHÉRAPIE À FAIBLE DÉBIT DE DOSE

Catégorie

Dimensions typiques

Fourchette d'activité

typique à l'état neuf

Applications

Voir figures 120 à 122

5 : Très peu susceptibles de présenter un danger
Moins de 1 mm de diamètre × moins de 5 mm de longueur

^{125}I et ^{103}Pd : jusqu'à 50 MBq (1,5 mCi)

Radiothérapie



FIG. 120. Exemples typiques de microsources de ^{125}I (photographie : SeeDOS Ltd/ BEBIG GmbH).



FIG. 121. Microsources dans un ruban de plastique (photographie : SeeDOS Ltd/BEBIG GmbH).



FIG. 122. Exemple typique de distributeur de microsources de ^{125}I sur ruban (photographie : SeeDOS Ltd/BEBIG GmbH).

Description de l'utilisation

Ces sources sont utilisées en curiethérapie interstitielle à faible dose ou comme implants permanents en cancérothérapie.

La plupart émettent un rayonnement X ou gamma de faible énergie et utilisent l'isotope ^{125}I .

Les sources sont fournies individuellement ou conditionnées dans un ruban de plastique destiné à en faciliter la manutention.

Elles sont encapsulées dans une seule enveloppe soudée en acier inoxydable ou en titane. La matière radioactive est plaquée ou chimiquement fixée sur un substrat.

Étant donné leur petite taille et la nature de l'application, les sources ne portent pas de marque d'identification individuelle ni aucune autre inscription.

Les microsources de curiethérapie sont aussi appelées « grains ».

Elles sont largement utilisées pour le traitement du cancer de la prostate. Elles sont implantées de façon permanente au moyen d'un dispositif spécialisé, et on les laisse décroître dans le corps.

6.11. PLAQUES OPHTALMIQUES

Catégorie	5 : Très peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	Moins de 10 mm de diamètre × moins de 5 mm d'épaisseur
Activité typique à l'état neuf	^{106}Ru : jusqu'à 50 MBq (1,4 mCi)
Applications	Radiothérapie
Voir figure 123	



FIG. 123. Plaque ophtalmique avec son applicateur sur un globe oculaire factice.

Description de l'utilisation

Ce type de source est utilisé pour le traitement du cancer de l'oeil dans des hôpitaux spécialisés.

La plupart de ces sources émettent un rayonnement bêta de faible énergie produit par du ^{106}Ru plaqué sur un substrat ou incorporé dans un film.

Elles sont placées sur le globe oculaire pendant une durée pouvant aller jusqu'à plusieurs jours.

6.12. SOURCES GAMMA DE FAIBLE ÉNERGIE POUR TRAVAUX D'ANALYSE

Catégorie

5 : Très peu susceptibles de présenter un danger

Dimensions typiques

3 à 15 mm de diamètre × 7 à 10 mm de hauteur

Fourchettes d'activité

typiques à l'état neuf

^{241}Am : 370 MBq (10 mCi) à 1,85 GBq (50 mCi) ;

^{244}Cm : 370 MBq (10 mCi) à 3,7 GBq (100 mCi) ;

^{109}Cd : 370 MBq (10 mCi) à 1,85 GBq (50 mCi)

Applications

Jauges industrielles

Voir figures 124 à 127



FIG. 124. Source ponctuelle de rayonnement gamma de faible énergie pour travaux d'analyse (photographie : QSA-Global).



FIG. 125. Exemple typique de source gamma de faible énergie pour travaux d'analyse (grand diamètre) : on peut voir, à droite, le côté de la fenêtre en béryllium et, à gauche, le côté soudé (photographie : QSA-Global).



FIG. 126. Exemple typique de source gamma de faible énergie pour travaux d'analyse (diamètre intermédiaire) : on peut voir, à droite, le côté de la fenêtre en béryllium et, à gauche, le côté soudé (photographie : QSA-Global).



FIG. 127. Exemple typique de source gamma de faible énergie (petit diamètre), vue du côté de la fenêtre en béryllium (photographie : IPL).

Description de l'utilisation

Ces sources sont utilisées dans des instruments et des dispositifs d'analyse dans des laboratoires ainsi que pour le traitement et (au moyen d'appareils hautement portatifs) la caractérisation des matériaux, comme il est indiqué dans la section 5. 17.

Elles émettent des rayons gamma de faible énergie dans des bandes d'énergie distinctes, qui, lorsqu'ils rencontrent certains éléments, génèrent des spectres bien définis de rayons X secondaires grâce auxquels il est possible de déterminer les éléments constitutifs de la matière analysée.

Les sources gamma utilisent généralement les isotopes ^{241}Am , ^{244}Cm ou ^{109}Cd . Elles se présentent généralement comme des capsules cylindriques de faible hauteur, dont il existe deux types :

- 1) Les capsules en acier inoxydable soudées comprenant une enveloppe unique. L'une des extrémités est extrêmement mince et sensible afin de permettre la transmission du rayonnement.
- 2) Les capsules en alliage de cuivre comprenant un disque en béryllium soudé à une extrémité pour permettre la transmission du rayonnement. Le côté fin en béryllium est appelé « fenêtre ».

Les sources doivent être manipulées avec précaution afin d'éviter d'endommager la fenêtre. La substance radioactive est un matériau céramique non lixiviable, dans le cas des sources de ^{241}Am et ^{244}Cm , et elle est plaquée sur un substrat, dans le cas des sources de ^{109}Cd .

Les sources sont généralement confinées dans de petits dispositifs blindés à l'intérieur de l'instrument. Des outils spécialisés sont normalement nécessaires pour y accéder.

Elles peuvent être transportées d'un lieu d'utilisation à l'autre à l'intérieur du dispositif dans lequel elles sont utilisées, mais dans de nombreux cas, elles sont montées sur place par des techniciens dûment formés et qualifiés.

Étant donné sa faible énergie, le rayonnement gamma est émis presque exclusivement par la fenêtre de la source. L'émission de rayonnement peut être réduite au minimum en couvrant la fenêtre.

La plupart des sources sont des capsules cylindriques qui ne présentent aucune autre caractéristique particulière.

6.13. SOURCES D'ÉTALONNAGE ET DE RÉFÉRENCE

Catégorie	5 : Très peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	Très variables
Fourchette d'activité typique à l'état neuf	Large éventail d'isotopes de toutes activités jusqu'à environ 37 MBq (1 mCi)
Applications	Étalonnage d'instruments
Voir figures 128 à 133	



FIG. 128. Source ^{137}Cs ponctuelle de référence (photographie : Schlumberger).



FIG. 129. Marqueur de référence (source ponctuelle) pour applications médicales (photographie : QSA-Global).



FIG. 130. Assortiment de sources de référence étendues (photographie : QSA-Global).



FIG. 131. Sources ^{153}Gd d'étalonnage pour tomographie par émission de positons, dans leur valise de transport (photographie : QSA-Global).



FIG. 132. Sources d'étalonnage pour détecteurs ayant diverses configurations géométriques (photographie : QSA-Global).



FIG. 133. Couverture d'étalonnage pour détecteur de rayonnement gamma naturel en diagraphie pétrolière (photographie : Schlumberger).

Description de l'utilisation

Ces sources, qui ont généralement une activité très faible, sont utilisées dans de nombreuses applications pour l'étalonnage d'instruments de mesure des rayonnements.

Dans la plupart des cas, leur activité est trop faible pour qu'elles soient officiellement considérées comme des sources scellées, mais elles sont mentionnées ici dans un souci d'exhaustivité.

7. EXEMPLES DE COLIS DE TRANSPORT RADIOACTIFS

7.1. COLIS DE TRANSPORT POUR SOURCES GAMMA DE HAUTE ACTIVITÉ

Catégorie	1 : Extrêmement dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	Jusqu'à 1,5 m de diamètre × 2,5 m de hauteur
Fourchette de masse typique	Jusqu'à 5000 kg
Isotopes et activité typiques	^{60}Co : jusqu'à 550 TBq (15 kCi) ; ^{137}Cs : jusqu'à 740 TBq (20 kCi)
Voir figures 134 à 137	



FIG. 134. Conteneur pour source gamma de haute activité en configuration de transport (photographie : REVISS).



FIG. 135. Conteneur pour source gamma de haute activité à l'intérieur d'une cage destinée à empêcher le contact avec ses surfaces chaudes (photographie : REVISS).



FIG. 136. Vérification des débits de dose à la surface avant l'expédition d'un conteneur de source gamma de haute activité (photographie : MDS Nordion).



FIG. 137. Conteneur prêt à être chargé dans une installation d'irradiation.

Description de l'utilisation

Ces conteneurs sont utilisés pour transporter des sources de rayonnement gamma de haute énergie, comme indiqué dans les sections 7.1 et 7.2.

Ils comportent généralement un blindage en plomb ou en uranium appauvri. Ceux ayant un blindage en uranium appauvri doivent être expédiés en tant que matières radioactives même lorsqu'ils sont vides, car ils émettent un rayonnement de faible intensité.

Ce type de conteneur est réutilisable et est généralement expédié par la route, par chemin de fer ou par voie maritime.

La législation locale peut exiger que des dispositions spéciales soient prises pour leur transport.

Les surfaces externes des conteneurs chargés sont souvent chaudes.

7.2. ÉCHANGEURS DE SOURCES DE RADIOGRAPHIE

Catégorie	2 : Très dangereux en l'absence de contrôle approprié
Dimensions typiques	250 mm de longueur × 210 mm de largeur × 340 mm de hauteur
Masse typique	40 kg
Isotopes et activité typiques	^{192}Ir : 8,9 TBq (240 Ci) ; ^{75}Se : 2,9 TBq (80 Ci) ; ^{169}Yb : 1,5 TBq (40 Ci) ; ^{60}Co : 3,7 GBq (100 mCi) ; ^{137}Cs : 370 GBq (10 Ci)

Voir figures 138 à 141



FIG. 138. Échangeur de source en configuration de transport (photographie : QSA).



FIG. 139. Échangeur de source prêt à être couplé à un dispositif de radiographie pour procéder à l'échange de la source (photographie : QSA).

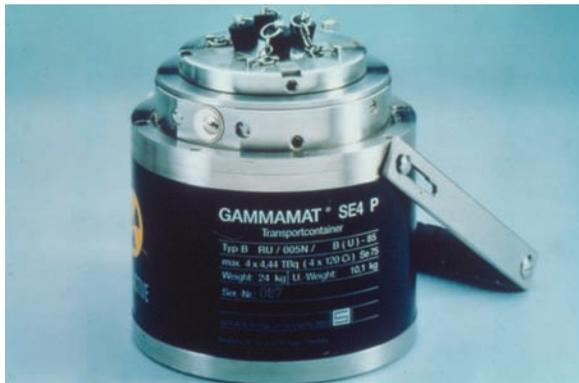


FIG. 140. Échangeur de source prêt à être couplé à un dispositif de radiographie pour procéder à l'échange de la source (photographie : MDS Nordion).



FIG. 141. Échangeurs de sources multiples prêts à être couplés à un dispositif de radiographie en vue de procéder à l'échange des sources (photographie : MDS Nordion).

Description de l'utilisation

Les conteneurs de ce type sont utilisés pour procéder à l'échange des sources de radiographie industrielle décrites dans la section 6.4.

Ils comportent généralement un blindage en plomb ou en uranium appauvri. Ceux ayant un blindage en uranium appauvri doivent être expédiés en tant que matières radioactives même lorsqu'ils sont vides, car ils émettent un rayonnement de faible intensité.

Ces conteneurs sont réutilisables et sont généralement expédiés par la route, par chemin de fer, par avion ou par voie maritime. Ils sont également utilisés pour l'expédition des sources de radiographie neuves du fabricant à l'utilisateur. Ce dernier peut, grâce au système de télécommande standard, transférer la source épuisée de l'appareil de radiographie au conteneur de transport et la source neuve du conteneur à l'appareil.

7.3. COLIS DE TRANSPORT POUR SOURCES GAMMA DE FAIBLE ACTIVITÉ ET DE HAUTE ÉNERGIE

Catégorie

3 : Dangereux en l'absence de contrôle approprié et

4 : Peu susceptibles de présenter un danger

Dimensions typiques

Jusqu'à 0,5 m de diamètre × 0,5 m de hauteur

Masse typique

Jusqu'à 200 kg

Isotopes et activité typiques

^{192}Ir : 7,4 TBq (200 Ci) ;

^{60}Co : 37 GBq (1 Ci) ;

^{137}Cs : 111 TBq (30 Ci)

Voir figures 142 à 145



FIG. 142. Enveloppe externe et conteneur blindé interne d'un colis utilisé pour le transport de sources gamma de haute énergie.



FIG. 143. Enveloppe externe et conteneur blindé interne d'un colis utilisé pour le transport de sources gamma de haute énergie (photographie : MAYAK P.A.).



FIG. 144. Enveloppe externe et conteneur blindé interne d'un colis utilisé pour le transport de sources gamma de haute énergie (photographie : MAYAK P.A.).



FIG. 145. Exemples de suremballages de type A utilisés pour le transport de jauges gamma (photographie : Endress & Hauser).

Description de l'utilisation

Les colis de ce type sont utilisés pour le transport de sources de rayonnement gamma de haute énergie destinées à des jauges et à d'autres applications industrielles décrites dans la section 6.6.

Ils comportent habituellement un blindage en plomb. L'uranium appauvri peut parfois être utilisé comme matériau de blindage, auquel cas les colis doivent être expédiés en tant que matières radioactives même lorsqu'ils sont vides, car ils émettent un rayonnement de faible intensité.

Ces colis sont en principe réutilisables et ils peuvent être expédiés par la route, par chemin de fer ou par voie maritime.

Ils sont généralement conformes aux prescriptions du Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA concernant les colis de type A, mais il peut aussi s'agir de colis de type B.

Dans de nombreux cas, des dispositifs radioactifs tels que ceux décrits dans la section 5.12 sont utilisés comme colis d'expédition, conformément à la réglementation applicable en matière de transport. Ils sont alors souvent placés dans des suremballages qui peuvent assurer une protection supplémentaire en cas d'accident ou simplement réduire le débit de dose effectif à la surface et faciliter la manutention.

7.4. COLIS À USAGE UNIQUE

Catégorie	3 : Dangereux en l'absence de contrôle approprié ; 4 : Peu susceptibles de présenter un danger et 5 : Très peu susceptibles de présenter un danger
Dimensions typiques	Cube d'un mètre de côté au maximum
Masse typique	Jusqu'à 50 kg
Isotopes et activité typiques	Tous isotopes
Voir figures 146 et 147	



FIG. 146. Composants d'un colis à usage unique de type A caractéristique (photographie : QSA-Global).



FIG. 147. Vue rapprochée du conteneur interne blindé en plomb d'un colis à usage unique de type A caractéristique (voir figure 146) (photographie : QSA-Global).

Description de l'utilisation

Ces colis sont utilisés pour transporter pratiquement tous les types de sources de rayonnement bêta et gamma et de neutrons, à condition que l'activité soit suffisamment faible pour que les débits de dose à la surface restent dans les limites légales.

Ils comprennent généralement un blindage en plomb, qui constitue le principal moyen de limiter les débits de dose à la surface. L'emballage interne réduit également la dose effective à la surface du colis en maintenant une distance de séparation supplémentaire avec la source radioactive.

Ces colis sont exclusivement destinés à un usage unique et peuvent être expédiés par la route, par chemin de fer, par avion ou par voie maritime. Il est inhabituel de les expédier sans leur contenu radioactif.

Ils ressemblent à de nombreux autres colis commerciaux et ne peuvent être identifiés que par l'étiquetage signalant leur contenu radioactif.

Ils sont généralement conformes aux prescriptions du Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA concernant les colis de type A, mais certains peuvent être des colis de type B. Les étiquettes détaillées qui y sont apposées permettent d'en déterminer le type.

Appendice I

LE RAYONNEMENT – NOTIONS FONDAMENTALES

I.1. QU'EST-CE QUE LE RAYONNEMENT?

Le rayonnement est généralement défini comme étant de l'énergie sous la forme de photons ou de particules se propageant dans l'espace. Aux fins de la présente publication, ce terme désigne le rayonnement ionisant capable d'ioniser les matières biologiques et, par conséquent, d'endommager les cellules vivantes.

Dans le contexte des sources radioactives, le rayonnement ionisant comprend les photons gamma et X, les particules alpha et bêta et les neutrons.

I.2. FORMES DE RAYONNEMENTS IONISANTS

Cinq formes de rayonnements ionisants sont prises en considération dans le présent manuel (voir figure 148) :

- 1) *Rayonnement alpha* : rayonnement constitué de particules dont la masse et l'énergie sont relativement importantes mais qui ont un faible pouvoir de pénétration puisqu'elles sont arrêtées par 1 à 2 cm d'air, une feuille de papier ou la couche cornée de l'épiderme humain.
- 2) *Rayonnement bêta* : rayonnement constitué d'électrons émis par le noyau d'un atome. L'électron est une particule dont la masse est très faible, mais qui a un plus grand pouvoir de pénétration que le rayonnement alpha. Le rayonnement bêta peut être arrêté par une plaque de plastique, de verre ou de métal. Il peut traverser la couche externe de l'épiderme et être absorbé par le tissu vivant, entraînant ainsi une ionisation potentiellement nocive.
- 3) *Rayonnement gamma* : rayonnement constitué de photons de haute énergie émis par le noyau d'un atome. Le photon a une masse négligeable et un grand pouvoir de pénétration. Il interagit avec les électrons de la matière par laquelle il est absorbé, ce qui entraîne une ionisation potentiellement nocive pour les tissus vivants. Généralement, des métaux denses tels que le plomb ou l'acier peuvent être utilisés pour l'arrêter.
- 4) *Rayonnement neutronique* : rayonnement constitué de neutrons émis par le noyau d'un atome. Les neutrons sont relativement petits et légers d'un point de vue atomique, sont dépourvus de charge électrique et ont

normalement une énergie élevée, ce qui leur donne un très grand pouvoir de pénétration. Comme ils n'ont pas de charge électrique, ils ne peuvent pas entraîner directement l'ionisation. Cependant, lorsqu'ils entrent en collision avec les noyaux des atomes de la matière qui les absorbe, ils peuvent les endommager et les rendre instables, et donc être très néfastes pour les tissus vivants. Ils peuvent traverser relativement facilement de nombreux matériaux et sont arrêtés par une substance hydrogénée comme l'eau ou la paraffine.

- 5) *Rayons X* : rayonnement photonique similaire au rayonnement gamma qui résulte de la perte d'énergie subie par les électrons lorsqu'ils sont ralentis. Les rayons X se comportent comme les rayons gamma.

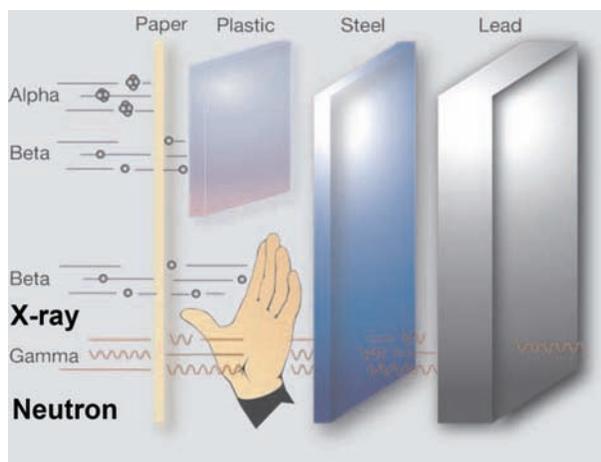


FIG. 148. Formes de rayonnements ionisants prises en considération dans le présent manuel.

I.3. EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS SUR LES TISSUS VIVANTS

Lorsque le rayonnement traverse une matière, il dépose une partie de son énergie dans cette matière en ionisant ou en excitant les atomes qui la composent. C'est l'ionisation des atomes des tissus, avec les changements chimiques dont elle s'accompagne, qui est à l'origine des effets biologiques néfastes des rayonnements. Nous ne comprenons pas encore complètement tous les mécanismes par lesquels les rayonnements endommagent les cellules,

mais un grand nombre d'entre eux se traduisent par des modifications de l'acide désoxyribonucléique (ADN). Ces dommages peuvent entraîner des effets biologiques, notamment la mort des cellules et des anomalies dans leur développement.

On distingue deux grands types d'effets sur la santé imputables aux rayonnements. Les effets déterministes ne se produisent que si la dose ou le débit de dose (c'est-à-dire la dose par unité de temps) dépassent un certain seuil. Ils apparaissent rapidement et sont d'autant plus graves que les doses et les débits de dose sont élevés. On peut citer comme exemples d'effets déterministes le syndrome d'irradiation aiguë (c'est-à-dire l'ensemble des symptômes résultant de l'exposition à de fortes doses de rayonnement), les brûlures de la peau et la stérilité. Si la dose est faible ou a été reçue sur une période relativement longue, les cellules endommagées ont davantage la possibilité de se régénérer : néanmoins, des effets néfastes peuvent encore apparaître. Ces effets, appelés stochastiques, ne sont pas certains, mais leur probabilité augmente avec la dose, bien que le moment de leur apparition et leur gravité ne dépendent pas de celle-ci. Divers types de cancer en sont des exemples.

I.4. LIMITATION DE L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

L'exposition de l'homme aux rayonnements ionisants peut être maîtrisée et limitée par trois facteurs :

- 1) la distance ;
- 2) le temps ;
- 3) la protection.

La meilleure façon de maîtriser et de limiter la radioexposition des personnes qui découvrent des sources ou des dispositifs radioactifs est de limiter la durée de leur présence sur les lieux et de les maintenir à distance. Dans le cas des experts des autorités civiles, le recours à du matériel de protection constitue un moyen supplémentaire de réduire cette exposition.

Lorsque l'on repère une source ou un dispositif non soumis à contrôle, on peut protéger le public des rayonnements à la fois en le maintenant à distance et en limitant la durée de sa présence sur les lieux. En règle générale, l'intensité du champ de rayonnement émis par une source de rayonnement ponctuelle est inversement proportionnelle au carré de la distance à la source. Lorsque des sources ou des dispositifs sont identifiés, il est essentiel de s'en éloigner

immédiatement afin de réduire au minimum le temps de présence sur les lieux et, par conséquent, l'exposition aux rayonnements. Il convient de les isoler au moyen d'équipements de protection, sur la base des évaluations faites par les experts des autorités civiles.

I.5. INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES

Pour de plus amples informations, voir références 12 à 14.

Appendice II

LISTE ET DESCRIPTION SUCCINCTE DES DISPOSITIFS PRÉSENTÉS DANS LA SECTION 5

TABLEAU 1. LISTE DES DISPOSITIFS ET DESCRIPTION SUCCINCTE

Référence	Description	Catégorie ^a	Applications principales	Applications secondaires	Fourchette de masse typique	Dimensions typiques	Remarques
5.1	Installations industrielles d'irradiation	1	Industrielles	Recherche	sans objet	Bâtiment de 100 m × 200 m × 50 m	
5.2	Appareils de téléthérapie	1	Médicales	Recherche	500 à 1000 kg	4 m de longueur × 2 m de largeur × 3 m de hauteur	
5.3	Irradiateurs de sang	1	Médicales		1500 à 3500 kg	1 m de longueur × 1 m de largeur × 1,5 m de hauteur	
5.4	Appareils de téléthérapie multifaisceaux (scalpels gamma)	1	Médicales		20 000 kg	4 à 5 m de longueur × 2 m de largeur × 2,5 m de hauteur	Dispositif blindé
5.5	Irradiateurs d'échantillons à petite échelle	1	Recherche		1000 à 6000 kg	1,5 m de longueur × 1,5 m de largeur × 2 m de hauteur	
5.6	Irradiateurs de semences	1	Agricoles	Industrielles	Chambre d'irradiation (démontée) : 3000 à 6000 kg	1,5 m de longueur × 1,5 m de largeur × 2 m de hauteur	Peut être monté sur des véhicules
5.7	Générateurs thermo-électriques radio-isotopiques	1 ^a	Diverses	Diverses	500 à 1000 kg	1,5 m de longueur × 1,5 m de largeur × 1,5 m de hauteur	Sauf stimulateurs cardiaques
5.8	Têtes de sonde gamma de diagraphie pétrolière	2	Industrielles		500 à 1000 g	20 à 60 mm de diamètre × 100 à 150 mm de longueur	
5.9	Sondes neutroniques de diagraphie pétrolière	2	Industrielles		400 à 1000 g	20 à 60 mm de diamètre × 100 à 200 mm de longueur	
5.10	Appareils de gammagraphie	2	Industrielles		8 à 35 kg	350 mm de longueur × 200 mm de largeur × 240 mm de hauteur	Utilisé avec des sources de Ir-192 et Se-75

TABLEAU 1. LISTE DES DISPOSITIFS ET DESCRIPTION SUCCINCTE (cont.)

Référence	Description	Catégorie ^a	Applications principales	Applications secondaires	Fourchette de masse typique	Dimensions typiques	Remarques
5.10	Échangeurs de sources de gammagraphie	2	Industrielles		40 kg	250 mm de longueur × 210 mm de largeur × 340 mm de hauteur	'Échangeur de source'
5.10	Appareils de gammagraphie (Co-60)	2	Industrielles		100 à 200 kg	900 mm de longueur × 900 mm de largeur × 900 mm de hauteur	Appareil semi-portable utilisant une source de Co-60
5.11	Dispositifs d'inspection interne des canalisations par gammagraphie (crawler)	2	Industrielles		50 à 100 kg	800 à 1500 mm de longueur × 400 mm de largeur × 400 mm de hauteur	
5.12	Jauges de densité, d'épaisseur et de niveau à rayonnement gamma de haute énergie	3	Industrielles		20 à 400 kg	200 à 400 mm de diamètre × 300 à 700 mm de longueur	
5.13	Jauges de densité, d'épaisseur et de niveau à rayonnement gamma de faible énergie	3	Industrielles		20 à 50 kg	200 à 400 mm de diamètre, 300 à 700 mm de longueur	
5.14	Jauges de densité et d'épaisseur à rayonnement bêta	4	Industrielles		10 à 20 kg	100 à 300 mm de longueur × 100 à 300 mm de largeur × 100 à 300 mm de hauteur	
5.15	Dispositifs de mesure de la teneur en humidité de matériaux en vrac	3	Industrielles		10 à 1000 kg	300 à 1000 mm de longueur × 300 à 500 mm de largeur × 300 à 500 mm de hauteur	
5.16	Humidimètres/densimètres	4	Industrielles	Agricoles	30 kg	200 mm de longueur × 300 mm de largeur × 1000 mm de hauteur	

TABLEAU 1. LISTE DES DISPOSITIFS ET DESCRIPTION SUCCINCTE (cont.)

Référence	Description	Catégorie ^a	Applications principales	Applications secondaires	Fourchette de masse typique	Dimensions typiques	Remarques
5.17	Analyseurs par fluorescence X	5	Industrielles	Recherche	Appareils hautement portatifs : 1 à 2 kg Appareils de laboratoire et de contrôle de processus : 20 à 100 kg	Appareils hautement portatifs : 200 mm de longueur × 100 mm de largeur × 100 mm de hauteur Appareils de laboratoire et de contrôle de processus : 500 mm de longueur × 500 mm de largeur × 1500 mm de hauteur	
5.18	Appareils de curiethérapie	2	Médicales		50 à 250 kg	300 à 600 mm de longueur × 300 à 600 mm de largeur × 800 à 1500 mm de hauteur	
5.19	Éliminateurs de charges statiques	4	Industrielles		Barres : jusqu'à 2 kg Pistolets : jusqu'à 500 g	Barres : jusqu'à 2000 mm de longueur × 30 mm de largeur × 10 mm d'épaisseur Pistolets : 30 mm de diamètre × 80 mm de longueur	
5.20	Paratonnerres radioactifs	5	Industrielles	Résidentielles	2 à 10 kg	100 à 300 mm de diamètre × 500 à 1000 mm de longueur	
5.21	Panneaux autolumineux	5	Industrielles		1 à 10 kg	Jusqu'à 600 mm de longueur × 200 mm de largeur × 100 mm d'épaisseur	
5.22	Détecteurs de fumée	5	Résidentielles	Industrielles	100 à 300 g	100 à 150 mm diamètre × 15 à 30 mm de hauteur	

^a Ces catégories sont celles du système de catégorisation de l'AIEA présenté dans la section 4.8 : la catégorie 1 correspond aux sources et aux dispositifs extrêmement dangereux pour les personnes et la catégorie 5 à ceux qui sont très peu susceptibles d'être dangereux.

Appendice III

LISTE DES SOURCES PRÉSENTÉES DANS LA SECTION 6 AVEC RENVOIS À LEURS APPLICATIONS

TABLEAU 2. LISTE DES SOURCES AVEC RENVOIS À LEURS APPLICATIONS

Référence	Description	Catégorie	Dimensions typiques	Dispositif correspondant (no. de la section)
6.1	Sources de cobalthérapie	1	Cylindre de 20 mm de diamètre × 30 mm de longueur	5.2 5.4
6.2	Sources gamma ⁶⁰ Co de stérilisation	1	11 mm de diamètre × 450 mm de longueur	5.1 5.5
6.3	Sources de ⁹⁰ Sr pour générateurs thermoélectriques radioisotopiques	1	Jusqu'à 100 mm de diamètre × 200 mm de longueur	5.7
6.4	Sources de gammagraphie industrielle	2	Jusqu'à 7 mm de diamètre × 15 mm de longueur ; flexible : jusqu'à 200 mm de longueur	5.10 5.11
6.5	Sources à chargement différé télécommandé pour curiethérapie à haut débit de dose	2	Sources modernes : Jusqu'à 3 mm de diamètre × 15 mm de longueur ; flexible : jusqu'à 300 mm de longueur Dispositifs anciens : Sphère d'environ 3 mm de diamètre ; Isotope : ¹³⁷ Cs	5.18
6.6	Sources gamma de haute énergie pour jauges industrielles	3 ou 4	Forme typique : capsule cylindrique de 3 à 12 mm de diamètre × 5 à 15 mm de longueur	5.12 5.16
6.7	Sources neutroniques pour jauges industrielles	3 ou 4	6 mm de diamètre × 12 mm de longueur ou 8 à 20 mm × 12 à 30 mm de longueur	5.15 5.16
6.8	Sources gamma et neutroniques de diagraphie pétrolière	3	Sources gamma : 8 à 20 mm de diamètre × 15 à 40 mm de longueur Sources neutroniques : 15 à 25 mm de diamètre × 25 à 60 mm de longueur	5.8 5.9

TABLEAU 2. LISTE DES SOURCES AVEC RENVOIS À LEURS APPLICATIONS

Référence	Description	Catégorie	Dimensions typiques	Dispositif correspondant (no. de la section)
6.9	Sources de faible énergie pour jauges industrielles fixes	4	10 à 50 mm de diamètre × 7 à 15 mm de hauteur	5.13 5.14
6.10	Microsources de curiethérapie à faible débit de dose	5	Moins de 1 mm de diamètre × moins de 5 mm de longueur	Non reliées à un dispositif
6.11	Plaques ophtalmiques	5	Moins de 10 mm de diamètre × moins de 5 mm d'épaisseur	Non reliées à un dispositif
6.12	Sources gamma de faible énergie pour travaux d'analyse	5	3 à 15 mm de diamètre × 7 à 10 mm de hauteur	5.17
6.13	Sources d'étalonnage et de référence	5	Tailles et formes diverses	Non reliées à un dispositif

RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Manuel destiné aux premiers intervenants en cas de situation d'urgence radiologique, EPR-PREMIERS INTERVENANTS 2006, AIEA, Vienne (2006).
- [2] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, Prescriptions de sûreté No GS-R-2, AIEA, Vienne, janvier 2004.
- [3] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Règlement de transport des matières radioactives, collection Normes de sûreté No TS-R-1, Vienne, août 2005.
- [4] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, L'accident radiologique de Goiânia, AIEA, Vienne (1990).
- [5] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in Bialystok, AIEA, Vienne (2004).
- [6] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, The Radiological Accident in Yanango, AIEA, Vienne (2000).
- [7] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, The Radiological Accident in Lilo, AIEA, Vienne (2000).
- [8] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, The Radiological Accident in Samut Prakarn, AIEA, Vienne (2002).
- [9] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Technical Data on Nucleonic Gauges, IAEA-TECDOC-1459, AIEA, Vienne (2005).
- [10] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, collection Rapports de sûreté No. 13, AIEA, Vienne (1999).
- [11] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Catégorisation des sources radioactives, collection Normes de sûreté n° RS-G-1.9, AIEA, Vienne, à paraître.
- [12] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Les sources radioactives scellées, Brochure d'information, AIEA, Vienne (2005).
- [13] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Radiation, People and the Environment, Brochure d'information, AIEA, Vienne (2004).
- [14] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Security of Radioactive Sources : Interim Guidance for Comment, IAEA-TECDOC-1355, AIEA, Vienne (2003).

DÉFINITIONS

Les définitions données ci-après ne sont pas nécessairement conformes à celles qui ont été adoptées ailleurs pour être utilisées dans le contexte international. Une terminologie plus générale concernant la radioprotection est présentée dans le glossaire de sûreté de l'AIEA (version 2.0), qui peut être consulté à l'adresse Internet suivante : <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>

activité. L'activité est la vitesse de transformation des atomes d'une matière radioactive. Elle permet de quantifier la présence d'un radionucléide. L'unité d'activité est le becquerel (Bq). 1 Bq = 1 transformation par seconde. L'ancienne unité d'activité était le curie (Ci) : les valeurs d'activité peuvent être données en Ci (la valeur équivalente en Bq étant indiquée entre parenthèses) si elles proviennent d'un ouvrage utilisant le Ci comme unité. 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq (exactement).

atome. Unité de matière consistant en un noyau unique entouré d'un nombre d'électrons égal au nombre de protons du noyau. C'est la plus petite partie d'un corps simple pouvant se combiner chimiquement avec une autre.

becquerel. Voir activité.

colis de transport. Conteneur dans lequel les sources scellées sont transportées. Les colis de transport sont conformes aux règles internationales relatives au transport des matières radioactives.

curiethérapie. Application d'une source radioactive scellée dans le corps ou sur le corps pour traiter certains types de cancers.

dispositif. Appareil ou instrument à l'intérieur duquel une source radioactive est utilisée et est confinée de façon sûre. La fabrication des dispositifs est généralement régie par des normes de sûreté nationales ou internationales.

effet déterministe. Effet sanitaire des rayonnements pour lequel il existe généralement un niveau de dose seuil au dessus duquel la gravité de l'effet augmente avec la dose. Un tel effet est dit « effet déterministe grave » s'il est mortel ou risque de l'être, ou s'il entraîne une lésion irréversible qui diminue la qualité de vie.

électron. Particule élémentaire stable ayant une charge électrique négative de $1,6 \times 10^{-19}$ C et une masse de $9,1 \times 10^{-31}$ kg.

ionisation. Processus par lequel un atome ou une molécule acquiert ou perd une charge électrique. Phénomène donnant lieu à la production d'ions.

irradiation. Exposition aux rayonnements. Cette exposition peut être volontaire, par exemple lorsque l'on irradie du matériel médical dans une installation industrielle pour le stériliser, ou involontaire, par exemple lorsque l'on se trouve à proximité d'une source qui émet un rayonnement. Généralement, l'irradiation n'entraîne pas de contamination radioactive, mais elle peut causer des lésions en fonction de la dose reçue.

isotopes. Nucléides ayant le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons. Isotope et nucléide ne sont pas des termes synonymes.

médecine nucléaire. Utilisation médicale de radionucléides à des fins diagnostiques et thérapeutiques.

molécule. Groupe d'atomes unis par une liaison chimique qui constitue la plus petite fraction d'une substance pouvant exister de façon indépendante tout en conservant les propriétés de cette substance.

neutron. Particule élémentaire dépourvue de charge électrique ayant une masse d'environ $1,67 \times 10^{-27}$ kg et une durée de vie moyenne d'environ 1000 secondes.

noyau (d'un atome). Partie centrale chargée positivement d'un atome qui est constituée des protons et des neutrons.

nucléide. Espèce atomique caractérisée par le nombre de protons et de neutrons et l'énergie du noyau.

numéro atomique (Z). Nombre de protons présents dans le noyau d'un atome.

numéro de masse (A). Nombre total de neutrons et de protons que comprend le noyau d'un atome.

organisme de réglementation. Organisation que le gouvernement d'un État a investi de pouvoirs juridiques pour réglementer la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté des déchets radioactifs et la sûreté du transport.

particule alpha. Particule constituée de deux protons et de deux neutrons (c'est-à-dire un noyau d'atome d'hélium) qui est émise par un radionucléide.

particule bêta. Électron ou proton qui a été émis lors d'une transformation nucléaire par le noyau d'un atome ou un neutron.

période. Temps nécessaire pour que l'activité d'un radionucléide soit réduite de moitié par un processus de décroissance radioactive. Symbole : $T_{1/2}$.

photon. Quantum de rayonnement électromagnétique.

radical libre. Atome ou groupe d'atomes dépourvus de charge ayant un ou plusieurs électrons non appariés qui faisaient partie d'une liaison chimique. Généralement très réactif d'un point de vue chimique.

radioactif. Qui est doué de radioactivité. Dans le contexte juridique et réglementaire, l'emploi de cet adjectif est souvent réservé aux matières qui, conformément au droit interne ou aux décisions d'un organisme de réglementation, doivent faire l'objet d'un contrôle réglementaire en raison de leur radioactivité.

radioactivité. Phénomène de désintégration aléatoire spontanée d'atomes, habituellement accompagné de l'émission d'un rayonnement.

radionucléide. Nucléide radioactif.

radioprotection (ou protection radiologique). Action de protéger les personnes des effets de l'exposition aux rayonnements ionisants et moyens d'assurer cette protection.

radiothérapie. Utilisation de faisceaux de rayonnements pour traiter des maladies, généralement des cancers.

rayonnement. Énergie se propageant dans l'espace sous la forme d'ondes ou de particules. Dans la présente publication, le terme rayonnement est souvent utilisé pour désigner le rayonnement ionisant, sauf lorsqu'il est nécessaire d'établir une distinction avec le rayonnement non ionisant.

rayonnement électromagnétique. Rayonnements consistant en des champs électriques et magnétiques oscillant perpendiculairement l'un par rapport

à l'autre. Ils peuvent avoir une longueur d'onde importante (faible énergie) comme les ondes radio, intermédiaire, comme la lumière visible, ou très courte (haute énergie) comme les rayons gamma.

rayonnement ionisant. Aux fins de la radioprotection, rayonnement capable de produire des paires d'ions dans une matière biologique. Les particules alpha, les rayons gamma, les rayons X et les neutrons sont des exemples de rayonnement ionisant.

rayons gamma. Rayonnement électromagnétique pénétrant émis par le noyau d'un atome lors de la désintégration radioactive et dont la longueur d'onde est beaucoup plus courte que celle de la lumière visible.

rayons X. rayonnement électromagnétique pénétrant émis par un atome lorsque des électrons de cet atome subissent une perte d'énergie et dont la longueur d'onde est beaucoup plus courte que celle de la lumière visible (voir rayons gamma).

risque. Probabilité qu'un effet sanitaire donné survienne chez une personne ou un groupe de personnes en raison d'une radioexposition.

source. Voir source radioactive.

source radioactive. Moyen de protéger une matière radioactive en la confinant dans une capsule étanche qui permet néanmoins l'émission de rayonnement pour les utilisations souhaitées. Les termes « source scellée » ou « source » sont également utilisés. Les sources radioactives sont fabriquées conformément à des règles internationales visant à garantir leur intégrité.

source scellée. Voir source radioactive.

stockage définitif. Mise en place de déchets radioactifs dans une installation appropriée sans intention de les récupérer.

uranium appauvri. Uranium dont la teneur massique en ^{235}U est inférieure à celle de l'uranium naturel (0,7%). L'uranium appauvri, qui est un sous-produit de l'enrichissement de l'uranium, est utilisé comme blindage de protection contre les rayonnements dans les conteneurs de transport de matières radioactives et dans certains dispositifs.

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

Al-Mughrabi, M.	Agence internationale de l'énergie atomique
Ambrose, J.	Department of Homeland Security, États-Unis d'Amérique
Andrievskaya, L.A.	Agence fédérale de l'énergie atomique, Fédération de Russie
Benz, D.	Endress & Hauser, Allemagne
Calvante, V.L.	Comissão Nacional de Energia Nuclear, Brésil
Garcia, A.	Europol
Ghosh, J.K.	Board of Radiation and Isotope Technology, Inde
Harris, T.	Nuclear Regulatory Commission, États-Unis d'Amérique
McAlpin, J.	Los Alamos National Laboratory, États-Unis d'Amérique
Neubauer, J.	Agence internationale de l'énergie atomique
Parfitt, J.	Revis Services, Royaume-Uni
Schlueck, R.K.	New York Fire Department, États-Unis d'Amérique
Shaddad, I.A.R.	Commission de l'énergie atomique, Soudan
Stevens, R.	LSS Technical Data Assessment, États-Unis d'Amérique
Stempel, S.	AEA Technology QSA GmbH, Allemagne
Svahn, B.	Autorité de radioprotection, Suède

Le présent manuel a été élaboré dans le cadre du Plan d'action de l'AIEA pour la sûreté et la sécurité des sources radioactives. Il a pour objectifs d'aider à reconnaître et à identifier les objets présumés être des sources, des dispositifs ou des colis de transport radioactifs, d'indiquer les mesures à prendre et comment obtenir une aide complémentaire lorsqu'on se trouve en présence de tels objets, de faire davantage prendre conscience de leur existence et de faire connaître, par l'intermédiaire de coordonnateurs désignés dans les États Membres de l'AIEA, le Catalogue international de sources radioactives scellées et de dispositifs connexes. Il a également pour objet d'aider à identifier les sources donnant lieu aux incidents signalés à la Base de données de l'AIEA sur le trafic illicite (ITDB).

**AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE**

ISBN 978-92-0-205009-9

ISSN 1816-9317