

Situations d'urgence radiologique : enseignements tirés des interventions (1945-2010)

DATE DE PUBLICATION : JANVIER 2014



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA ET PUBLICATIONS CONNEXES

NORMES DE SÛRETÉ

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

Les publications par lesquelles l'AIEA établit des normes paraissent dans la **collection Normes de sûreté de l'AIEA**. Cette collection couvre la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté du transport et la sûreté des déchets, et comporte les catégories suivantes : **fondements de sûreté, prescriptions de sûreté et guides de sûreté**.

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

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

Le site donne accès aux textes en anglais des normes publiées et en projet. Les textes des normes publiées en arabe, chinois, espagnol, français et russe, le Glossaire de sûreté de l'AIEA et un rapport d'étape sur les normes de sûreté en préparation sont aussi disponibles. Pour d'autres informations, il convient de contacter l'AIEA à l'adresse suivante : BP 100, 1400 Vienne (Autriche).

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

PUBLICATIONS CONNEXES

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

Les rapports sur la sûreté et la protection dans le cadre des activités nucléaires sont publiés dans la **collection Rapports de sûreté**. Ces rapports donnent des exemples concrets et proposent des méthodes détaillées à l'appui des normes de sûreté.

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

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

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

**Situations d'urgence
radiologique :
enseignements tirés
des interventions
(1945-2010)**

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

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

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 ».

Situations d'urgence radiologique : enseignements tirés des interventions (1945-2010)

DATE DE PUBLICATION : JANVIER 2014



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

DROIT D'AUTEUR

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

Unité de la promotion et de la vente, Section d'édition
Agence internationale de l'énergie atomique
Centre international de Vienne
B.P. 100
1400 Vienne (Autriche)
Fax : +43 1 2600 29302
Téléphone : +43 1 2600 22417
Courriel : sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

Pour obtenir de plus amples informations sur cette publication, s'adresser au :

Centre des incidents et des urgences
Agence internationale de l'énergie atomique
Centre international de Vienne
B.P. 100
1400 Vienne (Autriche)
Courriel : Official.Mail@iaea.org

SITUATIONS D'URGENCE RADIOLOGIQUE :
ENSEIGNEMENTS TIRES DES INTERVENTIONS (1945-2010)
AIEA, VIENNE, 2014
IAEA-EPR
© AIEA, 2014
Imprimé par l'AIEA en Autriche
Janvier 2014

AVANT PROPOS

L'AIEA est autorisée par son statut à établir des normes de sûreté pour protéger la santé et réduire au minimum les dangers pour la vie et les biens. La publication n° SF-1 (Principes fondamentaux de sûreté) de la collection Normes de sûreté de l'AIEA établit les objectifs, les principes et les concepts fondamentaux sur lesquels sont fondés les normes et programmes de sûreté de l'AIEA. Les publications de la catégorie Prescriptions de sûreté définissent des exigences connexes, et des guides de sûreté complémentaires indiquent comment s'y conformer.

La publication n° SF-1 énonce dix principes de sûreté dont elle décrit brièvement la raison d'être et les objectifs. Aux termes du principe 9, « des dispositions doivent être prises pour la préparation et la conduite des interventions d'urgence en cas d'incidents nucléaires ou radiologiques ». La publication de la collection Normes de sûreté n° GS-R-2, Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, qui est coparrainée par sept organisations internationales, énonce les prescriptions applicables en la matière dans tout État.

Certains des principes énoncés dans la publication n° SF-1 ont pour objet la gestion de la sûreté. En particulier, en vertu du principe 3 (Capacité de direction et de gestion pour la sûreté), « des processus doivent être mis en place pour recueillir et analyser les informations relatives ... (aux) accidents ..., afin d'en tirer des enseignements, de les partager et d'agir en conséquence ». Ce point est également traité dans la publication n° GS-R-2, où il est indiqué que « des dispositions doivent être prises pour le réexamen et l'actualisation des plans, procédures et autres dispositions en matière d'intervention et pour l'incorporation des enseignements tirés de la recherche, de l'expérience opérationnelle (d'interventions, par exemple) et des exercices » dans le cadre du programme d'assurance de la qualité.

En septembre 2011, la Conférence générale de l'AIEA, dans sa résolution GC(55)/RES/9, a souligné qu'il était « important que tous les États Membres mettent en œuvre des mécanismes de préparation et de conduite des interventions d'urgence et élaborent des mesures d'atténuation au niveau national, compatibles avec les normes de sûreté de l'Agence » et a prié en outre « le Secrétariat de continuer à améliorer les méthodes d'échange de connaissances et de données d'expérience dans le domaine de la préparation et de la conduite des interventions d'urgence et encouragé vivement les États Membres à participer activement à cet échange ».

Bien que la responsabilité première en matière de sûreté doive incomber à la personne ou à l'organisme responsable des installations et activités entraînant des risques radiologiques (Principe 1 de la publication Principes fondamentaux de sûreté), l'AIEA a aussi pour responsabilité d'aider ses États Membres à améliorer la sûreté. Tout d'abord, en vertu de son statut, elle est autorisée à prendre des dispositions en vue de l'application de ses normes. Deuxièmement, l'une des fonctions assignées à l'AIEA conformément à l'article 5.a (ii) de la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique est de « recueillir et diffuser aux États parties et aux

États Membres des informations concernant ... les méthodes, les techniques et les résultats disponibles de travaux de recherche relatifs aux interventions lors d'accidents nucléaires ou de situations d'urgence radiologique ».

La présente publication a pour but d'aider les États membres de l'AIEA à profiter des enseignements tirés de situations d'urgence passées qui confortent les prescriptions de sécurité énoncées dans la publication n° GS-R-2.

Comme elle a été rédigée avant le tremblement de terre qui a frappé le Japon en mars 2011, elle ne traite pas de l'accident survenu à la centrale nucléaire de la société TEPCO à Fukushima Daiichi. Les enseignements tirés de cet accident seront analysés dans une publication ultérieure de l'AIEA qui viendra compléter les informations présentées dans les pages qui suivent.

Les fonctionnaires de l'AIEA chargés de la présente publication sont T. McKenna et E. Buglova du Département de la sûreté et de la sécurité nucléaires.

NOTE DE L'ÉDITEUR

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

La mention de noms de sociétés ou de produits particuliers (qu'ils soient ou non signalés comme marques déposées) n'implique aucune intention d'empiéter sur 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

1.	INTRODUCTION	1
1.1.	Rappel.....	1
1.2.	Objectif.....	2
1.3.	Portée.....	2
1.4.	Structure	3
2.	PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES.....	4
2.1.	Responsabilités fondamentales	4
2.1.1.	Observations	4
2.1.2.	Conclusions.....	8
2.2.	Évaluation des menaces.....	8
2.2.1.	Observations.....	10
2.2.2.	Conclusions.....	11
3.	PRESCRIPTIONS FONCTIONNELLES	13
3.1.	Informations générales	13
3.1.1.	Observations	13
3.2.	Gestion des situations d'urgence et opérations.....	13
3.2.1.	Observations.....	14
3.2.2.	Conclusions.....	15
3.3.	Identification, notification et activation	16
3.3.1.	Observations	17
3.3.2.	Conclusions	20
3.4.	Actions d'atténuation.....	21
3.4.1.	Observations.....	22
3.4.2.	Conclusions	22
3.5.	Mise en œuvre des actions protectrices urgentes.....	23
3.5.1.	Observations.....	24
3.5.2.	Conclusions.....	26
3.6.	Informations, instructions et avertissements à l'intention du public	29
3.6.1.	Observations	29
3.6.2.	Conclusions	31
3.7.	Protection des membres des équipes d'intervention.....	32
3.7.1.	Observations.....	33
3.7.2.	Conclusions.....	34
3.8.	Évaluation de la phase initiale	35
3.8.1.	Observations.....	35
3.8.2.	Conclusions	36
3.9.	Gestion de l'intervention médicale.....	37
3.9.1.	Observations.....	37
3.9.2.	Conclusions.....	41
3.10.	Information du public	42
3.10.1.	Observations	43
3.10.2.	Conclusions.....	45

3.11. Mise en œuvre de contre-mesures agricoles, de contre-mesures contre l'ingestion et d'actions protectrices à long terme	45
3.11.1. Observations	46
3.11.2. Conclusions.....	48
3.12. Atténuation des conséquences non radiologiques de la situation d'urgence et de l'intervention.....	48
3.12.1. Observations	48
3.12.2. Conclusions.....	49
3.13. Exécution des opérations de rétablissement.....	50
3.13.1. Observations	50
3.13.2. Conclusions.....	52
4. PRESCRIPTIONS CONCERNANT L'INFRASTRUCTURE.....	52
4.1. Informations générales	52
4.2. Pouvoirs.....	52
4.2.1. Observations	52
4.2.2. Conclusions.....	55
4.3. Organisation	55
4.3.1. Observations.....	55
4.3.2. Conclusions	56
4.4. Coordination de l'intervention.....	56
4.4.1. Observations.....	57
4.4.2. Conclusions	58
4.5. Plans et procédures	58
4.5.1. Observations.....	59
4.5.2. Conclusions	61
4.6. Appui et moyens logistiques.....	62
4.6.1. Observations.....	62
4.6.2. Conclusions	64
4.7. Formation, entraînement et exercices	64
4.7.1. Observations.....	64
4.7.2. Conclusions	66
4.8. Programme d'assurance de la qualité	66
4.8.1. Observations.....	66
4.8.2. Conclusions	67
5. CONCLUSIONS	68
APPENDICE I : DESCRIPTION DE DIX SITUATIONS D'URGENCE LARGEMENT DOCUMENTÉES	69
1. L'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island.....	69
2. L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl	70

3. L'accident de criticité de Tokaimura (Japon).....	72
4. L'accident de Goiânia	73
5. L'accident de San José (Costa Rica)	75
6. L'accident de San Salvador.....	77
7. Le rejet de matières dangereuses de Bhopal (Inde)	78
8. Les ouragans Katrina et Rita.....	79
9. Les attentats à la bombe du 7 juillet 2005 à Londres	81
10.L'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres en 2006.....	82
 APPENDICE II : DESCRIPTION DE DIFFÉRENTS TYPES DE SITUATIONS D'URGENCE RADIOLOGIQUE	 89
 RÉFÉRENCES.....	 129
 SIGLES	 139
 PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN	 141

1. INTRODUCTION

1.1. RAPPEL

Les normes de sûreté de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) sont fondées sur l'idée qu'il vaut mieux prévenir que guérir. Ce résultat est obtenu grâce à l'application de normes appropriées aux stades de la conception et de l'exploitation. Toutefois, des incidents et des situations d'urgence radiologiques¹ se produisent et des normes de sûreté définissant les approches à suivre pour en atténuer les conséquences sont nécessaires.

La publication de la catégorie Prescriptions de sûreté n° GS-R-2 intitulée « Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique » [1] énonce les prescriptions visant à assurer, dans tout État, un niveau adéquat de préparation et d'intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique. Il y est également tenu compte des prescriptions de plusieurs autres publications de cette catégorie, qui sont les suivantes : Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements (NFI) [2] ; Infrastructure législative et gouvernementale pour la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté des déchets radioactifs et la sûreté du transport, GS-R-1 [3] ; Sûreté des centrales nucléaires : conception, NS-R-1 [4], et Sûreté des centrales nucléaires : exploitation, NS-R-2 [5]. L'application des prescriptions de sûreté a pour objet de réduire au minimum les conséquences de toute situation d'urgence nucléaire ou radiologique sur les personnes, les biens et l'environnement. Bien qu'ayant été élaborées avant les Principes fondamentaux de sûreté [6], elles définissent les exigences à satisfaire pour atteindre l'objectif global et appliquer les principes énoncés dans les publications relatives aux situations d'urgence.

Le terme « situation d'urgence » est défini de la façon suivante dans le glossaire de sûreté de l'AIEA [7] : « Situation inhabituelle qui nécessite une action rapide pour atténuer un danger ou des conséquences néfastes pour la santé et la sûreté des personnes, la qualité de vie, les biens ou l'environnement. Il s'agit aussi bien de situations d'urgence nucléaire ou radiologique que de situations d'urgence classique telles que les incendies, le rejet de produits chimiques dangereux, les tempêtes ou les séismes. Sont incluses les situations dans lesquelles il est justifié d'entreprendre une action rapide pour atténuer les effets d'un danger perçu. »

Plusieurs situations d'urgence nucléaire ont eu lieu, notamment l'incendie de Windscale en 1957 [8], l'accident de Three Mile Island en 1979 [9], l'accident de Tchernobyl en 1986 [10], l'accident de Sarov en 1997 [11] et l'accident de Tokaimura en 1999 [12]. Des situations d'urgence radiologique ont eu lieu partout dans le monde et, lorsqu'elle y a été invitée par les pays concernés, l'AIEA a procédé à des examens approfondis de ces situations afin de recueillir des informations sur leurs causes et les interventions d'urgence auxquelles elles ont donné lieu (y compris la prise en charge médicale, la reconstitution des doses, la communication avec le public, etc.) et de pouvoir en porter les

¹ Dans le présent document, le terme « situation d'urgence radiologique » désigne aussi bien une situation d'urgence nucléaire qu'une situation d'urgence radiologique.

enseignements éventuels à la connaissance des autorités et des organismes de réglementation nationaux, des responsables de l'établissement des plans d'urgence et de spécialistes d'un large éventail de disciplines, par exemple des physiciens, des techniciens, des experts médicaux et des radioprotectionnistes [13 à 31]. Il a été jugé utile d'analyser les conclusions des rapports et autres documents concernant ces interventions afin d'en rassembler les enseignements.

1.2. OBJECTIF

La présente publication a donc pour objectif de passer en revue, afin d'en faire la synthèse, les enseignements des interventions auxquelles ont donné lieu diverses situations d'urgence radiologique. Elle vise aussi à démontrer la nécessité de pourvoir à la préparation et à la conduite des interventions d'urgence, tâche pour laquelle la publication de l'AIEA de la catégorie Prescriptions de sûreté n° GS-R-2 intitulée « Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique » [1] donne des indications générales.

1.3. PORTÉE

La présente publication traite des situations d'urgence nucléaire ou radiologique (appelées ci-après situations d'urgence radiologique). Elle prend également en considération, lorsqu'il y a lieu, les enseignements tirés d'autres types de situations d'urgence. Elle s'adresse aux autorités et aux organismes de réglementation nationaux, aux responsables de l'établissement des plans d'urgence et aux spécialistes d'un large éventail de disciplines, par exemple les physiciens, les techniciens, les experts médicaux et les radioprotectionnistes. Elle pourra également être utile pour une éventuelle révision future des publications de la collection Normes de sûreté de l'AIEA relatives aux situations d'urgence radiologique.

Entre l'accident majeur dans une centrale nucléaire et la perte ou le vol de matières radioactives, l'éventail des situations d'urgence radiologique possibles à prendre en considération est énorme. Le présent document traite de l'ensemble de ces situations.

Les enseignements concernant la prévention des événements radiologiques grâce à des mesures de sûreté radiologique inhérentes à la conception et à l'exploitation des installations ne sont pas traités.

1.4. STRUCTURE

Le présent document reprend la structure de la publication de la catégorie Prescriptions de sûreté n° GS-R-2 intitulée « Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique » [1]. Par conséquent, la section 2 traite des prescriptions générales concernant la préparation et la conduite des interventions d'urgence, la section 3 des prescriptions fonctionnelles et la section 4 des prescriptions concernant l'infrastructure. Au début de chaque sous-section figure une liste récapitulative des principales prescriptions énoncées dans la publication n° GS-R-2. Les observations pertinentes qui ont pu être faites à l'issue d'examen des interventions auxquelles ont donné lieu diverses situations d'urgence sont ensuite brièvement résumées et, sur la base de ces observations, des conclusions sont formulées. L'appendice I passe en revue certaines des situations d'urgence, radiologiques ou non, qui ont été enregistrées depuis 1945 et dont il est le plus souvent fait mention dans le corps principal du texte. L'appendice II décrit de façon succincte et uniforme différents types de situations d'urgence radiologique et fournit des statistiques les concernant. Les tableaux 3 à 11 ont été dans une large mesure repris de la publication [32].

Sauf indication contraire, les termes utilisés dans le présent document ont le sens que leur donnent les définitions du glossaire de sûreté de l'AIEA [7].

2. PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

2.1. RESPONSABILITÉS FONDAMENTALES

Les principales prescriptions relatives aux responsabilités fondamentales énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- la mise et le maintien en place de mesures de préparation adéquates pour faire face aux éventuelles conséquences d'une situation d'urgence radiologique dans l'espace public ;
- la fourniture de ressources à l'organisme de réglementation et aux organismes d'intervention ;
- l'adoption d'une législation qui attribue clairement les responsabilités, y compris la désignation d'un organisme national de coordination ;
- la mise en place de dispositions concernant la préparation et la conduite des interventions pour toute pratique ou source qui pourrait nécessiter une intervention d'urgence, et l'intégration de ces dispositions avec celles d'autres organismes d'intervention ;
- la mise à l'essai de ces dispositions à des intervalles appropriés ;
- l'élaboration de règlements et de guides par l'organisme de réglementation ;
- la déclaration des situations d'urgence ;
- le rôle de conseiller de l'organisme de réglementation auprès du gouvernement et des organismes d'intervention ;
- la coordination des dispositions concernant les interventions en cas d'urgence radiologique avec celles concernant les interventions en cas d'urgence classique ;
- l'adoption de dispositions appropriées en matière de gestion pour respecter les délais d'intervention tout au long de la situation d'urgence.

2.1.1. Observations

Toutes ces prescriptions sont répétées dans les sections suivantes de la publication n° GS-R-2. Cependant, un certain nombre de remarques générales peuvent être faites ici sur la base des informations fournies dans l'appendice.

Les situations d'urgence liées aux rayonnements peuvent être classées en deux groupes², à savoir :

- a) celles qui peuvent se produire n'importe où. Ce sont généralement des situations d'urgence radiologique et comprennent :
 - l'exposition à des sources orphelines³ dangereuses⁴ ;

² Comme il est indiqué dans la section 1, les situations d'urgence liées aux rayonnements peuvent être de deux types : nucléaires ou radiologiques. Cependant, pour tirer des enseignements des interventions, il est plus pratique de les classer en fonction de l'endroit où elles pourraient se produire.

- l'exposition et la contamination du public dont l'origine est inconnue ;
 - la rentrée dans l'atmosphère de satellites contenant des matières radioactives ;
 - les actes et les menaces terroristes ;
 - les accidents de transport.
- b) celles qui se produisent dans des installations où des matières radioactives sont utilisées ou conservées et qui peuvent être soit nucléaires, soit radiologiques. Ces installations comprennent :
- les réacteurs nucléaires (de recherche, de propulsion navale et de puissance) ;
 - les installations du cycle du combustible (usines de traitement du combustible, par exemple) ;
 - les installations d'irradiation de grande taille (irradiateurs industriels, par exemple) ;
 - les installations où sont entreposées de grandes quantités de combustible usé ou d'autres matières radioactives ;
 - les utilisations industrielles et médicales de sources dangereuses (radiothérapie externe et radiographie, par exemple).

Alors que les situations du premier groupe peuvent survenir n'importe où, celles du second groupe ne peuvent se produire que dans un pays où il existe de telles installations, tout en étant susceptibles de toucher d'autres pays, par exemple s'il en résulte un rejet de matières radioactives suffisant pour franchir les frontières nationales, comme ce fut le cas lors de l'accident de Tchernobyl en 1986.

Des sources orphelines dangereuses ont été impliquées dans de nombreuses situations d'urgence du premier groupe qui ont fait des morts ou des blessés graves parmi le public. L'appropriation d'une source dangereuse par une personne qui n'a pas conscience du danger est un scénario courant dans ce genre de situation. Parfois, la source est apportée à un ferrailleur qui essaie d'en démonter le conteneur, ce qui a pour résultat, la source n'étant plus protégée, d'exposer à de fortes doses de rayonnements les personnes se trouvant à proximité. Lorsque les personnes ainsi exposées commencent à présenter les symptômes de l'irradiation aiguë (brûlures, vomissements, par exemple), elles se présentent à une consultation médicale pour être soignées. Cependant, un certain temps peut s'écouler avant que les professionnels de la santé soupçonnent que les lésions ont été

³ Une source orpheline, telle que définie dans le glossaire de sûreté de l'AIEA, est une source radioactive qui n'est pas soumise à un contrôle réglementaire, soit parce qu'elle n'a jamais fait l'objet d'un tel contrôle, soit parce qu'elle a été abandonnée, perdue, égarée, volée ou cédée sans autorisation appropriée.

⁴ Une source dangereuse est une source qui peut, si elle n'est pas sous contrôle, donner lieu à une exposition suffisante pour causer des effets déterministes graves (c'est-à-dire une lésion survenant seulement au-dessus d'une certaine dose relativement élevée qui est mortelle ou potentiellement mortelle, ou qui entraîne des lésions permanentes qui réduisent la qualité de vie.

causées par une exposition aux rayonnements et alertent les responsables compétents. Une fois qu'ils savent qu'il peut s'agir d'une situation d'urgence radiologique, ceux-ci peuvent dans la plupart des cas, au moyen d'instruments courants, mettre rapidement la source sous contrôle et éviter ainsi des dommages corporels supplémentaires. Dans certains cas, les mesures permettant de rétablir une situation sûre ne pourront pas être prises immédiatement en raison de la nécessité de localiser la ou les sources ou de déterminer l'étendue de la contamination. Quoi qu'il en soit, l'essentiel est de se rendre compte qu'un accident a eu lieu de sorte que les plans d'intervention d'urgence puissent être mis en œuvre. Toutes les situations de ce groupe ont suscité un intérêt et des inquiétudes considérables de la part du public et de médias. Les accidents survenus à Goiânia en 1987 [13], en Turquie en 1999 [21] et en Thaïlande en 2000 [25] et l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres en 2006 [33] en sont des exemples.

Les principaux enseignements tirés de ces situations d'urgence sont les suivants :

- celles-ci peuvent se produire de façon inattendue dans n'importe quel pays ;
- il faut informer les ferrailleurs pour qu'ils sachent détecter ou reconnaître une source orpheline dangereuse ;
- il faut informer le corps médical pour qu'il sache reconnaître les symptômes médicaux de l'exposition aux rayonnements ;
- des plans et des procédures doivent être établis au niveau national et, s'il y a lieu, au niveau local ;
- des critères génériques et opérationnels doivent être définis à l'avance aux fins de la prise des décisions ;
- il faut répondre sans délai aux préoccupations du public et des médias.

Les accidents de Three Mile Island (TMI) en 1979 [9], Tchernobyl en 1986 [10], Tokaimura en 1999 [12] et San Salvador [14] sont les exemples les plus typiques des situations du second groupe.

L'accident de TMI a entraîné des dommages graves au cœur d'un réacteur nucléaire, des doses très élevées sur le site et seulement des rejets mineurs de matières radioactives hors du site, mais a eu un fort impact psychologique sur la population [9]. L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl s'est traduit par un rejet extrêmement important de matières radioactives qui a entraîné 28 décès par irradiation parmi le personnel de la centrale et les membres des équipes d'intervention d'urgence en 1986, plusieurs milliers de cancers thyroïdiens radio-induits chez les enfants et des dommages psychologiques et économiques considérables [10].

Les principaux enseignements des accidents de TMI et de Tchernobyl ont montré la nécessité :

- de prévoir des dispositifs d'intervention d'urgence pour des événements très improbables ;
- de se doter de capacités permettant de détecter la présence de conditions dangereuses dans l'installation et d'agir immédiatement lorsque de telles conditions ont été détectées ;
- de prendre des dispositions pour protéger les membres des équipes d'intervention d'urgence sur le site ;
- de critères et de dispositions permettant d'évaluer rapidement l'état de l'installation et la situation radiologique hors du site pour décider des mesures de protection à prendre (évacuation, relogement, restrictions alimentaire, etc.) ;
- de prendre des dispositions pour répondre rapidement aux préoccupations du public et des médias.

L'accident de criticité survenu à Tokaimura a entraîné la mort de deux travailleurs mais pas de rejet ni d'exposition importants hors du site. Bien que son impact radiologique en dehors du site ait été faible, cet accident a néanmoins causé d'importants dommages économiques et psychologiques. Le principal enseignement qui s'en dégage est qu'il faut répondre rapidement aux préoccupations du public, même s'il s'agit d'installations où des situations d'urgence ne peuvent pas avoir des conséquences radiologiques importantes en dehors du site.

L'accident de San Salvador s'est traduit par l'exposition de trois travailleurs non qualifiés à des niveaux élevés de rayonnement dans un irradiateur industriel, dont deux ont été si gravement atteints aux jambes et aux pieds qu'il a fallu les amputer. L'un d'entre eux est décédé six mois et demi après l'accident. Le principal enseignement en l'occurrence concerne davantage la prévention que l'intervention, à savoir qu'il est nécessaire de s'assurer que le personnel travaillant dans des installations où des doses élevées sont possibles (même si cela est très improbable) est correctement formé et équipé.

Les trois premiers exemples du second groupe étaient des situations d'urgence nucléaire et le dernier une situation d'urgence radiologique. D'autres situations de ce groupe ont donné lieu à une exposition excessive de patients en radiothérapie [20, 24, 27] qui s'est soldée par leur décès ou leur a causé de graves lésions. En général, ces situations ont résulté de défaillances du matériel, d'erreurs de procédure ou de l'utilisation de configurations inhabituelles (et non testées) de systèmes informatiques ou autres.

Les principaux enseignements qui en ont été tirés du point de vue de l'intervention sont qu'il est nécessaire :

- d'avertir rapidement les utilisateurs de systèmes de traitement similaires des risques de surexposition accidentelle ;
- de dispenser un traitement médical spécialisé pour soulager les douleurs des patients et limiter l'étendue des lésions permanentes.

2.1.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important que :

- tous les États mettent et maintiennent en place (et testent par des exercices) les dispositions voulues pour faire face aux situations d'urgence radiologique dans l'espace public, eu égard aux spécificités nationales ;
- les responsables des installations où des sources de rayonnement sont conservées ou utilisées établissent leurs propres dispositions pour intervenir de façon graduée en fonction du niveau de risque en cas d'urgence ;
- les responsables des installations/sites où des sources orphelines peuvent se trouver (par exemple les chantiers de récupération de métaux) mettent en place des dispositifs d'intervention d'urgence ;
- des ressources suffisantes soient disponibles et que les responsabilités soient clairement définies afin d'assurer une intervention adéquate en cas d'urgence radiologique ;
- les membres du corps médical reçoivent une formation qui leur permette de reconnaître les lésions radio-induites, car ils sont souvent les premiers à les observer chez les patients, et qu'ils soient encouragés à prévenir l'organisme de réglementation lorsqu'ils soupçonnent l'apparition d'une telle lésion ;
- des informations claires soient rapidement fournies aux médias et au public en cas de situation d'urgence radiologique en raison de l'intérêt considérable que suscitent de telles situations et pour éviter que les mesures d'intervention ne soient indûment gênées.

2.2. ÉVALUATION DES MENACES⁵

Aux fins de la définition des prescriptions relatives à la préparation et à la conduite des interventions d'urgence énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1], les menaces radiologiques sont classées suivant les catégories⁶ indiquées dans le tableau 1 ci-après. Chacune de ces catégories présente des points communs pour ce qui est de l'ampleur des conséquences radiologiques d'une situation d'urgence et, par conséquent, des dispositions à prendre en matière de préparation et d'intervention. Les catégories I, II et III représentent des niveaux de menace décroissants dans les installations et donc de rigueur des dispositions prescrites. Les catégories de menaces IV et V s'appliquent aux activités⁷.

⁵ Dans les normes, guides et manuels de sûreté de l'AIEA en cours d'élaboration, les termes « menace » et « évaluation de la menace » seront remplacés par les termes « danger » et « évaluation du danger ».

⁶ Dans les normes, guides et manuels de sûreté de l'AIEA en cours d'élaboration, le terme « catégorie de menace » sera remplacé par le terme « catégorie de danger ».

⁷ Installations et activités : appellation générique englobant les installations nucléaires, les utilisations de toutes les sources de rayonnements ionisants, toutes les activités de gestion des déchets radioactifs, le transport des matières radioactives et toute autre pratique ou circonstance qui pourrait entraîner l'exposition de personnes à des rayonnements émis par des sources naturelles ou artificielles. Les installations comprennent les installations nucléaires, les installations d'irradiation, les installations d'extraction et de transformation des matières premières, comme les mines d'uranium, les installations

La catégorie IV concerne les activités pouvant conduire à une situation d'urgence susceptible de survenir pratiquement partout ; elle représente le niveau minimum de menace censé s'appliquer à tous les États et territoires. La catégorie V s'applique aux zones hors site pour lesquelles des dispositions en matière de préparation et d'intervention sont justifiées pour faire face à une contamination résultant d'un rejet de matières radioactives provenant d'une installation de la catégorie I ou II. Ces catégories de menaces permettent d'établir une approche graduée pour la préparation et la conduite des interventions en cas d'urgence radiologique, mais rien n'oblige expressément à les utiliser. Elles ont été seulement définies pour les besoins de la publication n° GS-R-2 [1].

La publication [34] indique comment déterminer la catégorie de menaces et donne des exemples de situations correspondant à différentes catégories. Pour évaluer les menaces, il faut avoir une idée claire des problèmes qui peuvent se poser et il est donc essentiel de connaître et de comprendre les causes et les conséquences des accidents qui se sont déjà produits.

Les principales prescriptions relatives l'évaluation des menaces énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- le recours, pour une installation de la catégorie de menaces I, à l'analyse probabiliste de la sûreté pour déterminer si le dispositif d'intervention d'urgence de l'exploitant est adéquat ;
- le recours, pour une installation des catégories de menaces I, II ou III, à une analyse de sûreté approfondie pour déterminer toutes les sources d'exposition afin d'établir des prescriptions pour les situations d'urgence ;
- la nécessité de prévoir des dispositifs d'urgence qui soient en rapport avec l'ampleur potentielle et la nature de la menace ;
- la nécessité de procéder à un examen périodique pour s'assurer que toutes les pratiques et situations qui pourraient nécessiter une intervention d'urgence sont recensées, et de veiller à ce qu'une évaluation des menaces qu'elles représentent soit effectuée ;
- le recensement des installations, des sources, des pratiques, des zones du site, des zones hors site et des emplacements pour lesquels des mesures de protection sont justifiées ;
- le recensement des menaces non radiologiques ;
- le recensement des emplacements où la probabilité de trouver une source dangereuse est importante ;

de gestion de déchets radioactifs et tout autre endroit dans lequel des matières radioactives sont produites, transformées, utilisées, manipulées, entreposées ou stockées définitivement – ou dans lequel des générateurs de rayonnements sont installés – à une échelle telle que la protection et la sûreté doivent être prises en considération. Les activités comprennent la production, l'utilisation, l'importation et l'exportation de sources de rayonnements à des fins industrielles, médicales et de recherche, le transport des matières radioactives et le déclassement des installations, la gestion des déchets radioactifs, des activités telles que le rejet des effluents et certains aspects de la remédiation des sites contaminés par des résidus d'activités passées. Voir le glossaire de sûreté de l'AIEA [7].

- le recensement des grandes installations de recyclage de déchets métalliques, des postes-frontières et des installations où des sources de forte puissance ont pu être utilisées.

2.2.1. Observations

De nombreuses études montrent que les pires rejets de produits de fission [35, 36, 37] susceptibles de se produire à partir d'une centrale nucléaire⁸ ou de piscines d'entreposage de combustible usé⁹ de grande taille pourraient entraîner des effets déterministes graves sur la santé en dehors du site ; par conséquent, ces installations font partie de la catégorie de menaces I. Les réacteurs de recherche et les installations de retraitement du combustible usé sont des exemples d'installations qui pourraient entraîner des rejets justifiant des actions protectrices urgentes en dehors du site et relèvent donc de la catégorie II.

Il est généralement admis que, dans le cas des installations des catégories de menaces I et II, des analyses de sûreté approfondies doivent être réalisées afin de déterminer les dispositions d'urgence nécessaires. Ce que l'on sait moins, c'est que des situations d'urgence graves peuvent survenir dans des installations de la catégorie III. Des accidents majeurs ayant entraîné de graves lésions radio-induites ou des décès par irradiation se sont produits dans des installations de cette catégorie dans plusieurs pays, notamment en Italie en 1975 [32, 39], en Norvège en 1982 [40, 41], en El Salvador en 1989 [14], en Israël en 1990 [15], en Chine en 1990 et 1992 [32, 39], au Bélarus en 1991 [16] et en France en 1991 [42, 43]. Ces installations, relativement peu nombreuses, présentaient donc un risque d'accident grave élevé. Cela a incité l'AIEA à lancer un programme de travail de grande ampleur pour promouvoir des améliorations [29]. L'expérience de l'AIEA montre que le risque est maintenant nettement plus faible grâce aux améliorations apportées à la conception et aux pratiques mais qu'il ne peut pas être écarté.

La radiographie industrielle mobile, qui relève de la catégorie IV, est une activité qui a également entraîné des lésions graves ou des décès. Au Royaume-Uni, en 1992, un opérateur de radiographie industrielle est probablement décédé des suites d'une forte exposition (au moins 10 Gy) subie sur plusieurs années [39]. D'autres accidents ont eu lieu en France en 1995 [39], en Iran en 1996 [26], au Pérou en 1999 [22] et en Bolivie en 2002 [28]. De nombreux accidents ou incidents imputables à des sources orphelines ont aussi été signalés. Certains accidents plus anciens survenus au Mexique en 1962 [44], en Algérie en 1978 [45] et au Maroc en 1984 [46] ont montré comment des sources de radiographie industrielle pouvaient devenir des sources orphelines et causer un certain nombre de décès. Plus récemment, l'industrie du recyclage des métaux a connu de tels accidents [46], qui ont conduit à l'installation de systèmes permettant de vérifier à leur arrivée la présence éventuelle de matières radioactives dans les métaux de récupération. Des sources orphelines ont aussi fait des blessés et même des morts parmi le public, notamment en Chine en 1992 [39], en Estonie en 1994 [18], en Géorgie en 1997 [23], à Istanbul en 1998/99 [21] et en Thaïlande en 2000 [25].

⁸ L'accident de Tchernobyl aurait pu entraîner des doses mortelles en dehors du site si le rejet initial avait touché une zone habitée.

⁹ Contenant du combustible usé nécessitant un refroidissement actif.

2.2.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- de mettre en place, sur la base d'une analyse de sûreté, des dispositions d'urgence dans les installations de la catégorie de menaces III, ainsi que dans celles des catégories I et II, une attention particulière étant accordée aux irradiateurs industriels étant donné que de nombreux États en sont dotés ;
- de mettre en place des dispositions d'urgence pour les situations impliquant des sources orphelines dangereuses susceptibles de se trouver pratiquement n'importe où ; de démontrer la nécessité de recenser les endroits où de telles sources peuvent être découvertes, par exemple les entreprises de recyclage des métaux.

TABLEAU I. CINQ CATÉGORIES DE MENACES D'ORDRE NUCLÉAIRE ET RADIOLOGIQUE AUX FINS DES PRESCRIPTIONS [1]

Catégorie de menaces ⁶	Description
I	Installations, telles que les centrales nucléaires, pour lesquelles on postule des événements (y compris des événements de très faible probabilité) survenant sur le site ¹⁰ qui pourraient causer des effets déterministes graves ¹¹ sur la santé hors du site, ou pour lesquelles de tels événements se sont produits dans des installations similaires.
II	Installations, telles que certains types de réacteurs de recherche, pour lesquelles on postule des événements survenant sur le site qui pourraient entraîner des doses à la population hors du site justifiant des actions protectrices urgentes conformément aux normes internationales ¹² , ou pour lesquelles de tels événements se sont produits dans des installations similaires. La catégorie II (contrairement à la catégorie I) ne comprend pas les installations pour lesquelles on postule des événements (y compris des événements de très faible probabilité) survenant sur le site qui pourraient causer des effets déterministes graves sur la santé hors du site, ou pour lesquelles de tels événements se sont produits dans des installations similaires.
III	Installations, telles que les installations industrielles d'irradiation, pour lesquelles on postule des événements survenant sur le site qui pourraient entraîner des doses ou une contamination justifiant des actions protectrices urgentes sur le site, ou pour lesquelles de tels événements se sont produits dans des installations similaires. La catégorie III (contrairement à la catégorie II) ne comprend pas les installations pour lesquelles on postule des événements qui justifieraient des actions protectrices urgentes hors du site, ou pour lesquelles de tels événements se sont produits.
IV	Activités pouvant provoquer une situation d'urgence nucléaire ou radiologique qui pourrait justifier des actions protectrices urgentes dans un emplacement imprévisible. Elles comprennent des activités non autorisées telles que celles qui concernent des sources dangereuses obtenues de façon illicite. Elles comprennent aussi le transport et des activités autorisées mettant en jeu des sources mobiles dangereuses telles que les sources de radiographie industrielle, les satellites à source d'énergie nucléaire ou les générateurs radiothermiques. La catégorie IV représente le niveau minimum de menace censé s'appliquer à tous les États et emplacements.
V	Activités ne mettant normalement pas en jeu des sources de rayonnements ionisants, mais dont les produits ont une forte probabilité ¹³ d'être contaminés à la suite d'événements survenant dans des installations des catégories I ou II, y compris des installations d'autres États, jusqu'à un niveau tel qu'il faudrait imposer rapidement des restrictions sur ces produits conformément aux normes internationales.

¹⁰ Comportant un rejet de matières radioactives dans l'atmosphère ou dans l'eau ou une exposition externe (par suite, par exemple, d'une perte de protection ou d'un événement de criticité) dont l'origine se trouve sur le site.

¹¹ Doses dépassant celles auxquelles une intervention serait normalement effectuée en toutes circonstances ; voir l'annexe II de la réf. [2]. L'expression « effet déterministe grave » est expliquée dans le glossaire [7].

¹² Annexe III de la réf. [2].

¹³ À condition qu'un rejet important de matières radioactives se produise dans une installation des catégories I ou II.

3. PRESCRIPTIONS FONCTIONNELLES

3.1. INFORMATIONS GÉNÉRALES

Les objectifs pratiques de l'intervention d'urgence, tels que définis dans la publication n° GS-R-2 [1], sont les suivants :

- reprendre le contrôle de la situation ;
- prévenir ou atténuer les conséquences sur place ;
- empêcher l'apparition d'effets déterministes sur la santé des travailleurs et du public ;
- apporter les premiers secours et assurer le traitement des lésions radio-induites ;
- empêcher, autant que possible, l'apparition d'effets stochastiques sur la santé de la population ;
- empêcher, autant que possible, l'apparition d'effets non radiologiques sur les individus et dans la population ;
- protéger, autant que possible, les biens et l'environnement ;
- préparer, autant que possible, la reprise d'une activité économique et sociale normale.

Pour atteindre ces objectifs, les prescriptions en matière de préparation sont appliquées dans le cadre du processus de planification des interventions.

3.1.1. Observations

Ces objectifs n'appellent aucune observation, si ce n'est qu'ils sont parfaitement sensés.

3.2. GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE ET OPÉRATIONS

Les principales prescriptions relatives à la gestion des situations d'urgence et aux opérations énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] sont les suivantes :

Intervention

- l'intervention sur le site doit être effectuée rapidement, sans gêner l'exécution continue des fonctions liées à la sûreté d'exploitation ;
- l'intervention hors du site doit être gérée efficacement et coordonnée avec l'intervention sur le site ;
- l'intervention doit être coordonnée entre tous les organismes d'intervention ;
- les informations nécessaires pour décider de l'attribution des ressources doivent être évaluées tout au long de la situation d'urgence.

Préparation

- pour les installations des catégories de menaces I, II ou III, la transition du fonctionnement normal au fonctionnement en état d'urgence doit être clairement définie de même que les responsabilités des personnes présentes sur le site ;
- pour les installations des catégories de menaces I ou II, des dispositions doivent être prises pour coordonner l'intervention de tous les organismes hors site avec l'intervention sur le site ;
- les dispositions applicables en cas de situation d'urgence radiologique aux niveaux national et local doivent être intégrées avec celles applicables en cas de situation d'urgence classique ;
- des dispositions doivent être prises pour la mise en œuvre d'un système de commandement et de contrôle, notamment pour :
 - la coordination des activités ;
 - l'élaboration de stratégies ;
 - le règlement des différends ;
 - l'obtention et l'évaluation des informations ;
- pour les installations des catégories de menaces I ou II, des dispositions doivent être prises pour coordonner l'intervention entre les organismes d'intervention et les autorités qui se trouvent dans la zone d'actions préventives ou dans la zone de planification des actions protectrices urgentes¹⁴.

3.2.1. Observations

Les personnes chargées de diriger les interventions initiales ont souvent été inefficaces parce qu'elles n'avaient pas été formées dans des conditions réalistes et que le système d'intervention n'avait pas été conçu pour des situations d'urgence graves (par exemple TMI, Tchernobyl). Elles ont été dépassées et désorientées par la situation stressante dans laquelle elles se trouvaient, ont exécuté les tâches de leurs subordonnés au lieu d'assumer leurs fonctions d'encadrement, ont dû se rendre dans différents endroits à des moments cruciaux, n'avaient pas accès au téléphone en raison de l'encombrement des lignes et n'ont pas véritablement compris la nature et la gravité de la situation [9, 10, 47].

¹⁴ La zone d'actions préventives est une zone autour d'une installation pour laquelle des dispositions ont été prises en vue de la mise en œuvre d'actions protectrices urgentes en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique afin de réduire le risque d'effets déterministes graves hors du site. Les actions protectrices dans cette zone doivent être mises en œuvre avant ou peu après un rejet de matières radioactives ou une exposition en fonction des conditions régnant dans l'installation. La zone de planification des actions protectrices urgentes est une zone autour d'une installation pour laquelle des dispositions ont été prises en vue de la mise en œuvre d'actions protectrices urgentes en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique afin d'éviter des doses hors site conformément aux normes internationales de sûreté. Les actions protectrices mises en œuvre dans cette zone le sont sur la base du contrôle radiologique de l'environnement ou, le cas échéant, des conditions régnant dans l'installation.

Lors d'interventions d'urgence [47, 48], des responsables de haut niveau ont semé la confusion en élaborant des plans spéciaux parce qu'ils n'étaient pas au courant des plans et des procédures mis en place par leurs organismes. Très souvent, des cadres et des décideurs de haut niveau n'avaient pas jugé nécessaire de participer aux activités de formation et de définir leur rôle dans une situation d'urgence.

Dès le commencement de la situation d'urgence à TMI, de nombreux membres du personnel de la centrale se sont rendus dans la salle de commande, ce qui a beaucoup gêné les opérateurs alors qu'ils essayaient de comprendre la situation et d'en reprendre le contrôle. Ils y sont allés parce c'était ce qu'ils avaient toujours fait en cas de problème.

L'intervention déclenchée à la suite de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres constitue un exemple d'opération efficace dans le cadre du dispositif de commandement et de contrôle existant. Il s'agissait d'un scénario inédit, mais le cadre d'intervention d'urgence du Royaume-Uni, qui définissait un dispositif de commandement et de contrôle clair pour une intervention multi-institutions (quelle que soit la nature de l'incident), ainsi que l'expérience acquise grâce à de nombreux exercices nucléaires et antiterroristes, ont constitué une base solide, qui ont permis d'intervenir de façon efficiente et efficace [33].

3.2.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- de préparer les interventions d'urgence en prenant des dispositions correspondant à la catégorie de menaces ;
- de préciser les rôles et les responsabilités des personnes qui participeront à l'intervention d'urgence, y compris de celles chargées de la diriger ou de la gérer ;
- de veiller à ce que l'intervention des autorités nationales et celle des autres organismes d'intervention soient dès que possible gérées de façon intégrée, dans un endroit unique, l'idéal étant à proximité du lieu où la situation d'urgence s'est produite ;
- que toutes les personnes participant à l'intervention sachent que les dispositions qui sont applicables dans des situations normales ne le sont pas nécessairement dans une situation d'urgence.

3.3. IDENTIFICATION, NOTIFICATION ET ACTIVATION

Les principales prescriptions relatives à l'identification, à la notification et à l'activation énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] sont les suivantes :

Intervention

- les opérateurs doivent déterminer rapidement la classe d'urgence ou le niveau d'intervention appropriés et lancer l'intervention sur le site ; le centre de notification hors site doit être prévenu et tenu au courant de l'évolution de la situation ;
- le centre de notification hors site doit informer rapidement tous les organismes d'intervention hors site compétents, lesquels doivent prendre rapidement les mesures d'intervention prévues qui sont appropriées ;
- des mesures appropriées doivent être prises rapidement lorsqu'une notification a été reçue d'un autre État ;
- dans le cas d'une situation d'urgence transnationale, les États susceptibles d'être touchés doivent être rapidement informés ;

Préparation

- des centres de notification pouvant recevoir en permanence des notifications relatives à des situations d'urgence doivent être en place ;
- dans les pays où la probabilité qu'une source dangereuse puisse être perdue ou soustraite est grande, des dispositions doivent être prises pour s'assurer que les responsables sur le site et les autorités locales connaissent les indicateurs d'une situation d'urgence potentielle et les mesures à prendre si l'on soupçonne une telle situation ;
- des dispositions doivent être prises pour faire en sorte que les premiers intervenants connaissent le symbole de la radioactivité (le « trèfle radioactif ») et les étiquettes et placards signalant la présence de marchandises dangereuses, ainsi que leur signification, les indices donnant à penser qu'il est nécessaire de procéder à une évaluation pour déterminer s'il peut s'agir d'une situation d'urgence et les notifications et autres mesures immédiates requises si l'on soupçonne une telle situation ;
- l'exploitant d'une installation ou d'une pratique des catégories de menaces I, II, III ou IV doit prendre des dispositions pour reconnaître rapidement une situation d'urgence radiologique réelle ou potentielle et déterminer le niveau d'intervention approprié, ce qui nécessite un système permettant de classer toutes les situations d'urgence potentielles sur la base de critères d'intervention prédéfinis ;
- pour les installations ou pratiques des catégories de menaces I ou II, un centre de notification hors site disponible en permanence doit être désigné ;
- pour les installations ou pratiques des catégories de menaces I, II, III ou IV, il faut veiller à ce qu'il y ait en permanence sur le site une personne qui a été désignée pour assumer la responsabilité de classer une situation d'urgence, puis de lancer

- rapidement une intervention appropriée sur le site, de notifier le centre de notification hors site compétent et de fournir suffisamment d'informations pour une intervention efficace hors du site. Cette personne doit avoir les moyens d'alerter le personnel d'intervention sur le site et d'avertir le centre de notification hors site ;
- l'exploitant d'une installation ou d'une pratique des catégories de menaces I, II, III ou IV doit veiller à ce que des dispositions adéquates soient prises pour recueillir rapidement les informations voulues et les communiquer aux autorités compétentes ;
 - lorsqu'une situation d'urgence d'une classe donnée a été déclarée dans une installation ou une pratique des catégories de menaces I, II, III ou IV, l'intervention doit être lancée rapidement, et les responsabilités et les mesures initiales d'intervention de tous les organismes d'intervention doivent être définies ;
 - pour les installations des catégories de menaces I ou II, l'évaluation de la menace doit démontrer que l'identification, la notification, l'activation et les autres mesures initiales d'intervention peuvent être réalisées à temps ;
 - des dispositions doivent être prises pour que les organismes d'intervention aient suffisamment de personnel disponible pour appliquer les mesures initiales d'intervention qui leur incombent ;
 - des dispositions doivent être prises pour pouvoir intervenir lors d'une situation d'urgence pour laquelle des plans détaillés n'ont pas pu être élaborés à l'avance ;
 - les coordonnées du point de contact national doivent être communiquées à l'AIEA et aux autres États ;
 - des dispositions doivent être prises pour avertir rapidement les États qui pourraient être touchés par une situation d'urgence transnationale ;
 - des dispositions doivent être prises pour avertir rapidement tout État dans lequel des actions protectrices urgentes devraient être prises.

3.3.1. Observations

La gravité des accidents nucléaires de Three Mile Island et de Tchernobyl n'a pas été immédiatement comprise par les opérateurs, malgré l'existence d'indications évidentes [9, 37, 49]. Cette carence a été imputée au fait que la question des accidents graves n'avait pas été traitée dans le cadre de leur formation et que leurs procédures ne comportaient pas de critères prédéfinis qui auraient permis de classer l'événement et de définir les mesures d'intervention. Les situations d'urgence graves n'avaient pas été abordées parce qu'il était inconcevable pour eux qu'elles puissent se produire, même si elles avaient été postulées dans des analyses scientifiques crédibles.

La perplexité des opérateurs a été un facteur aggravant lors des accidents de TMI et de Tchernobyl parce que ceux-ci n'ont pas pris d'emblée les mesures appropriées. Ainsi, lors de l'accident de TMI, les opérateurs ont, malgré la présence d'indices manifestes de

fusion du cœur, tenté d'obtenir la confirmation qu'ils prenaient des mesures d'atténuation adéquates sur la foi d'un seul instrument dont les indications se sont révélées trompeuses en situation d'urgence [9, 37].

Plusieurs situations radiologiques impliquant des sources orphelines dangereuses ont été aggravées par le fait que des récupérateurs de métaux ignoraient la signification du trèfle radioactif. Certes, l'objectif stricto sensu de ce symbole est de signaler la présence de rayonnements et non un danger grave. Néanmoins, celui-ci est maintenant largement connu en tant qu'indicateur de danger d'irradiation, même si ces situations d'urgence montrent clairement que cette connaissance n'est pas universelle [21, 25, 50].

Certaines de ces situations d'urgence ont été identifiées lorsque des médecins ont diagnostiqué des lésions radio-induites. Toutefois, ces diagnostics ont souvent été retardés parce que les médecins n'étaient pas familiarisés avec les symptômes de l'exposition aux rayonnements [13].

Lors de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres, on s'est bien rendu compte du fait que les symptômes présentés par le patient pouvaient être dus aux rayonnements, mais pas des limites des mesures prises pour vérifier cette hypothèse. En substance, les premiers contrôles avaient consisté à mesurer les débits de dose et la contamination sur le patient et à proximité. Malheureusement, les émetteurs alpha n'étant pas fréquents dans les hôpitaux, les instruments utilisés ne pouvaient pas détecter le rayonnement alpha émis par ^{210}Po [33].

Dans de nombreux accidents, en particulier ceux relevant des catégories de menaces III et IV, le manque de formation, ou le fait que la formation n'avait pas été mise en œuvre de manière efficace, ont été à la fois la cause de l'accident et la raison pour laquelle celui-ci n'a pas été rapidement détecté. L'accident survenu dans un irradiateur à San Salvador en est un exemple [14]. En l'occurrence, des travailleurs non qualifiés ont été fortement exposés en débloquent un porte-source qui était coincé, et bien qu'ils soient allés à l'hôpital alors qu'ils présentaient des symptômes d'irradiation aiguë, personne n'a réalisé la gravité de l'événement. D'ailleurs, un nouvel accident s'est produit avant que l'on s'aperçoive qu'il y avait un problème.

Une fois qu'une situation d'urgence a été détectée, la voie à suivre pour en donner notification et déclencher les mesures d'intervention appropriées doit être bien connue et facile d'accès. L'expérience montre que les dispositions prises en prévision de situations d'urgence non nucléaires qui constituent une menace pour le public, bien qu'étant tout aussi nécessaires, sont souvent moins solides. Lors de l'accident de Goiânia [13], la procédure à suivre pour signaler l'accident aux autorités locales afin qu'elles prennent immédiatement des mesures à leur niveau n'était pas claire. Une fois l'accident signalé, les autorités locales ont pris des mesures dont elles ont rendu compte aux autorités nationales, et une intervention nationale s'en est ensuivie. Cependant, à chaque étape, il a fallu improviser, car aucun plan d'intervention clair n'avait été élaboré pour faire face à une telle situation. Il a été possible d'adapter certains éléments des plans d'intervention en cas d'accident nucléaire, mais il en a inévitablement résulté des retards dans la mise en œuvre effective des ressources nécessaires.

Parmi les personnes potentiellement exposées lors de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres figuraient, outre des résidents du Royaume-Uni, de nombreux

visiteurs étrangers qui avaient séjourné ou s'étaient rendus dans l'un des hôtels ou autres lieux concernés par cet incident. Ces personnes devaient faire l'objet d'un suivi. Pour y parvenir, la Health Protection Agency (HPA) a créé une équipe consultative pour l'étranger, l'Overseas Advice Team (OAT) [33], qui auparavant ne faisait pas partie de son plan d'urgence, car il est alors apparu clairement que toute situation d'urgence survenant dans une grande ville était susceptible de toucher des visiteurs étrangers et que les plans devaient en tenir compte.

En collaboration avec le Ministère britannique des affaires étrangères et du Commonwealth, l'OAT a organisé des séances d'information à l'intention de représentants des ambassades et des missions diplomatiques à Londres. À mesure que les visiteurs étrangers susceptibles d'avoir absorbé du ^{210}Po ont pu être identifiés, des dispositions ont été prises en vue d'assurer leur suivi par l'intermédiaire des services diplomatiques et des organismes de santé publique. Au total, 664 personnes de 52 pays ont été identifiées, mais le suivi et la communication des résultats ont soulevé un certain nombre de problèmes :

- il est apparu d'emblée que les informations transmises par la voie diplomatique ne parvenaient pas nécessairement aux organismes nationaux compétents ;
- cette situation a conduit à essayer de contacter ces organismes par l'intermédiaire de points de contacts pour les questions de radioprotection ou de santé publique, mais là encore, cela a été difficile et a pris du temps ;
- dès le début de l'incident, l'AIEA a été officiellement informée comme l'exige la Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire [51]. Cependant, il a fallu attendre que se posent les problèmes de liaison susmentionnés pour qu'il soit fait appel au niveau national au réseau de points de contact de l'AIEA pour les situations d'urgence. Rétrospectivement, il est clair qu'il aurait été utile d'y recourir plus tôt.

Même lorsqu'il a été possible d'établir des contacts et de transmettre des informations concernant les tests jugés nécessaires, le renvoi des résultats a été inégal puisqu'il n'a concerné que moins de 25 % des personnes initialement identifiées. Dans certains cas, il a été déclaré que ces résultats ne pouvaient pas être communiqués en raison de la législation sur la protection des données ou du caractère confidentiel des données médicales. Ceux qui l'ont été concordaient avec le profil de risque évalué sur la base de la surveillance individuelle et environnementale effectuée au Royaume-Uni. Cependant, il est manifeste que l'absence de retour d'information cohérent au niveau international pourrait être un problème lors de futures interventions d'urgence.

Le nombre de patients gravement surexposés lors de leur radiothérapie aurait pu être limité si les accidents avaient été rapidement détectés. Par exemple, dans le cas de l'accident survenu au Costa Rica, bien que les techniciens aient demandé pourquoi les temps de traitement avec la nouvelle source radioactive étaient restés les mêmes qu'avec l'ancienne, la situation en est restée là [20]. Le problème n'a été décelé qu'au bout d'un mois environ lorsqu'un médecin a estimé que ses patients présentaient une réaction plus forte que la normale.

Dans la Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire [51], les États parties ont pris l'engagement qu'au cas où un accident nucléaire susceptible d'avoir des conséquences radiologiques transfrontières se produirait, ils en informeraient les pays pouvant être touchés et l'AIEA. Dans la publication n° GS-R-2 [1], il est précisé qu'en cas de situation d'urgence transfrontière (ou transnationale)¹⁵, ils doivent adresser une notification, directement ou par l'intermédiaire de l'AIEA, aux États susceptibles d'être touchés. Les États avaient tardé à réagir aux alertes lancées par le Centre des incidents et des urgences de l'AIEA parce qu'ils n'avaient pas désigné de point de contact, ne disposaient pas de personnel parlant anglais ou n'avaient pas fait le nécessaire pour que les télécopieurs utilisés pour recevoir ces alertes soient surveillés et opérationnels en permanence.

3.3.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- d'élaborer, pour les installations relevant des catégories de menaces I, II et III, des procédures d'exploitation destinées à aider les opérateurs à reconnaître toutes les séquences d'accidents identifiées dans l'analyse de sûreté, y compris celles dont la probabilité est faible ;
- de veiller à ce que les personnes travaillant dans l'industrie du recyclage des métaux soient familiarisés avec le trèfle symbole de la radioactivité et les appareils contenant des sources dangereuses, et de soumettre à un contrôle de radioactivité les lots entrants de métaux de récupération et les divers flux de produits ;
- d'élaborer des guides indiquant aux médecins comment reconnaître les lésions radio-induites ;
- d'encourager les personnes intervenant dans l'administration des traitements en radiothérapie et dans d'autres situations où les patients peuvent recevoir des doses élevées de rayonnements, par exemple en radiologie interventionnelle, à adopter

¹⁵ Une situation d'urgence transfrontière est situation nucléaire ou radiologique ayant une importance radiologique réelle, potentielle ou perçue pour plusieurs États, telle que :

- 1) un rejet transfrontière important de matières radioactives ;
- 2) une situation d'urgence générale dans une installation ou autre événement pouvant entraîner un rejet transfrontière important (dans l'atmosphère ou dans l'eau) de matières radioactives ;
- 3) la découverte de la perte ou de l'enlèvement illicite d'une source dangereuse qui a traversé, ou dont on soupçonne qu'elle a traversé, une frontière nationale ;
- 4) une situation d'urgence entraînant une perturbation importante du commerce ou des voyages internationaux ;
- 5) une situation d'urgence justifiant la mise en œuvre d'actions protectrices au bénéfice de ressortissants étrangers ou d'ambassades dans l'État dans lequel elle se produit ;
- 6) une situation d'urgence entraînant ou pouvant entraîner des effets déterministes graves et impliquant une défaillance et/ou un problème (matériel ou logiciel) qui pourrait avoir des incidences pour la sûreté au plan international ;
- 7) une situation d'urgence suscitant ou pouvant susciter de graves préoccupations parmi la population de plusieurs États en raison du danger radiologique réel ou perçu.

une attitude critique, de sorte qu'il soit donné suite de façon appropriée à tout incident inattendu ;

- que chaque État mette et maintienne en place des dispositions pour notifier sans délai à l'AIEA et aux États susceptibles d'être touchés toute situation d'urgence radiologique ayant des conséquences transfrontalières, et soit prêt à réagir à une telle notification adressée par un autre État, conformément aux procédures de l'AIEA [52].

3.4. ACTIONS D'ATTÉNUATION

Les principales prescriptions concernant les actions d'atténuation énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] sont les suivantes :

Intervention

- les premiers intervenants doivent faire le nécessaire pour réduire au minimum les conséquences d'une situation d'urgence relevant de la catégorie de menaces IV ;
- l'exploitant d'une installation ou d'une pratique des catégories de menaces I, II, III ou IV doit faire le nécessaire pour réduire au minimum les conséquences d'une situation d'urgence ;
- des services d'urgence doivent être disponibles pour appuyer l'intervention dans les installations des catégories de menaces I, II ou III ;

Préparation

- des dispositions doivent être prises pour fournir rapidement des services d'experts et des services de radioprotection aux autorités locales et aux premiers intervenants dans une situation d'urgence relevant de la catégorie de menaces IV. Les premiers intervenants doivent aussi recevoir des instructions pour les situations d'urgence concernant le transport et les cas supposés de trafic illicite ;
- l'exploitant d'une pratique relevant de la catégorie de menaces IV doit recevoir une formation de base sur les moyens d'atténuer les conséquences potentielles de situations d'urgence et de protéger rapidement les travailleurs et le public ;
- l'exploitant d'une pratique utilisant une source dangereuse doit prendre des dispositions pour intervenir en cas de situation d'urgence impliquant cette source, notamment pour obtenir rapidement le concours d'un spécialiste de l'évaluation radiologique ou de la radioprotection ;
- des dispositions doivent être prises pour lancer rapidement une recherche et avertir la population au cas où une source dangereuse viendrait à être perdue ;
- les exploitants des installations relevant des catégories de menaces I, II ou III doivent prendre des dispositions pour empêcher l'aggravation de la menace, remettre l'installation dans un état sûr et stable, réduire le risque de rejets de matières radioactives ou d'expositions, et atténuer les conséquences des rejets ou des expositions qui se produiraient ;

- dans les installations des mêmes catégories de menaces, des dispositions doivent être prises en ce qui concerne la fourniture d'un appui technique au personnel d'exploitation, la mise à disposition d'équipes chargées d'atténuer les conséquences, la mise en place du matériel, le personnel chargé des actions d'atténuation, l'obtention rapide de l'appui de la police, des services médicaux et des services de lutte contre l'incendie hors site et l'accès à l'installation du personnel d'appui hors-site et la communication d'informations à celui-ci.

3.4.1. Observations

De par leur nature, les situations d'urgence appellent une intervention rapide. Comme on l'a vu dans la sous-section précédente, il est donc essentiel de se rendre rapidement compte qu'un événement s'est produit. Cependant, il ressort de l'analyse de nombreuses situations d'urgence que les interventions n'ont pas été aussi rapides qu'elles auraient dû l'être, bien que l'on se soit rendu compte de ce qui se passait. Dans certains cas, le personnel de l'installation n'était pas prêt, en raison du danger (niveaux de rayonnement ou températures élevés, par exemple), à s'acquitter des fonctions d'urgence qui lui avaient été assignées. Dans d'autres cas, les procédures et la formation se sont révélées inefficaces parce qu'elles n'avaient pas pris en considération toutes les situations d'urgence plausibles, ne pouvaient être mises en œuvre qu'une fois les causes sous-jacentes de l'événement diagnostiquées [37, 49, 53, 54] ou n'avaient pas envisagé la façon dont les systèmes ou les instruments réagiraient dans une situation d'urgence [30, 55]. Ces lacunes au niveau des procédures et de la formation ont pu exister en dépit du fait que de telles conditions très dangereuses étaient pourtant la conséquence logique des situations d'urgence postulées [49, 54].

Lors de certaines situations d'urgence survenues dans des installations, l'intervention des organismes extérieurs a été retardée parce qu'aucune disposition n'avait été prise pour leur donner rapidement accès à l'installation et les informer de ce à quoi ils devaient s'attendre à leur arrivée ou des mesures de protection radiologique à prendre. Par exemple, de nombreux pompiers locaux sont intervenus dans les premières heures de l'accident de Tchernobyl. Cependant, ils n'avaient pas reçu une formation suffisante et ne disposaient pas de matériel de protection individuelle adéquat, ce qui a contribué aux fortes doses qu'ils ont reçues.

3.4.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- de prendre des mesures d'atténuation le plus rapidement possible une fois qu'une situation d'urgence a été détectée, car tout retard peut en aggraver les conséquences ;
- de mettre en place des dispositions pour que les exploitants d'installations et les opérateurs de sources mobiles dangereuses (catégorie de menaces IV) puissent prendre sans délai des mesures d'atténuation ;

- de veiller à ce que les dispositions prises pour les situations d'urgence tiennent compte des conditions réelles – par exemple des niveaux élevés de rayonnement dans certaines zones – qui peuvent avoir une incidence sur l'applicabilité de ces dispositions et l'exécution des procédures d'urgence ;
- de veiller à ce que les dispositions prises pour les situations d'urgence tiennent compte des informations et des ressources dont ont besoin les organismes extérieurs susceptibles de fournir une assistance d'urgence sur le site ainsi que de la nécessité de contacter rapidement ces organismes et de leur donner immédiatement accès au site.

3.5. MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS PROTECTRICES URGENTES

Les principales prescriptions relatives à la mise en œuvre des actions protectrices urgentes énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

Intervention

- la nécessité de sauver des vies ;
- la nécessité d'empêcher l'apparition d'effets déterministes graves et d'éviter des doses ;
- la nécessité de modifier les actions protectrices pour tenir compte des nouvelles informations disponibles ;
- la cessation d'une action protectrice qui n'est plus justifiée ;

Préparation

- l'établissement de niveaux d'intervention nationaux optimisés ;
- l'adoption de directives nationales concernant la cessation des actions protectrices urgentes ;
- les informations à fournir aux premiers intervenants concernant l'urgence de sauver des vies et d'éviter des blessures graves ;
- les dispositions à prendre dans les installations des catégories de menaces I ou II pour déterminer et mettre en œuvre les actions nécessaires hors site ;
- les dispositions nécessaires pour que les responsables hors site décident rapidement des actions protectrices à prendre ;
- les dispositions nécessaires pour que les autorités de la zone d'actions préventives et/ou de la zone de planification des actions protectrices urgentes décident rapidement des actions à mettre en œuvre ;
- les dispositions que l'exploitant d'une installation des catégories de menaces I, II ou III doit prendre pour assurer la sûreté des personnes se trouvant sur le site ;
- la nécessité pour l'exploitant d'une installation des catégories de menaces I, II ou III de veiller à ce que les moyens de communication nécessaires soient disponibles.

3.5.1. Observations

Les installations des catégories de menaces I et II sont par définition celles pour lesquelles on postule des événements survenant sur le site qui pourraient entraîner des doses à la population hors du site justifiant des actions protectrices urgentes telles que l'évacuation, la mise à l'abri, l'administration d'iode stable et la limitation de la consommation de produits alimentaires et d'eau pouvant être contaminés. L'accident de Tchemobyl, en particulier, a nécessité des actions urgentes hors site [10]. L'accident de TMI aurait pu se solder par des doses significatives hors site si les substances radioactives libérées par la fusion du cœur n'avaient pas été retenues par l'enceinte de confinement. En l'occurrence, certaines personnes ont été évacuées à titre préventif [9]. Il a également été procédé à l'évacuation préventive de la population locale lors de l'accident de Tokaimura [12].

Des responsables locaux ont parfois hésité à ordonner une évacuation parce qu'ils craignaient à tort que cela provoque la panique et de nombreux accidents de la circulation. Pourtant, il ressort des recherches menées depuis près de cinquante ans [56, 57, 58] sur des évacuations majeures (entreprises notamment en réponse à des situations d'urgence radiologique graves, à un rejet de substance chimique toxique, à la découverte d'une bombe non explosée de la deuxième Guerre mondiale et à des ouragans) que celles-ci sont relativement fréquentes et peuvent être effectuées sans entraîner la panique et un risque accru d'accidents mortels [57, 59 à 61]. L'expérience des évacuations de grande ampleur qui ont eu lieu lors des ouragans Katrina et Rita a montré l'importance d'assurer une gestion rigoureuse des flux de circulation qui en résultent et de fournir les véhicules nécessaires [62].

Lors de l'accident de TMI, deux jours après la fusion du cœur, il a été conseillé aux femmes enceintes et aux enfants d'âge préscolaire de quitter la zone comprise dans un rayon de 8 km [63]. En fait, les personnes qui ont suivi ce conseil ont été environ dix fois plus nombreuses que celles auxquelles il était expressément adressé [56, 64, 65, 66]. Cela a été dû dans une large mesure au caractère confus et contradictoire des informations concernant la gravité de l'accident ainsi qu'au fait que l'on s'attendait à ce qu'il y ait d'autres évacuations par la suite. En l'occurrence, l'action protectrice visait un sous-groupe de la population (à savoir les femmes enceintes et les enfants d'âge préscolaire). Cependant, les autorités ont omis d'expliquer que l'évacuation des femmes enceintes avait pour but de protéger le fœtus. En conséquence, les femmes en âge de procréer et les familles ayant des enfants en bas âge ont aussi eu tendance à opter pour l'évacuation [67].

Les mesures de précaution prises lors de l'accident de TMI étaient loin d'être complètes. Si l'enceinte de confinement avait cédé, il en aurait résulté une exposition importante du public. Les niveaux élevés de rayonnement à l'intérieur de l'enceinte de confinement auraient dû être considérés comme une indication que des mesures de précaution plus étendues étaient nécessaires. Dans son enquête, la Nuclear Regulatory Commission (NRC) a conclu qu'il aurait été prudent de recommander l'évacuation à titre de précaution au moment où le cœur se dégradait parce que l'enceinte de confinement se remplissait de gaz et de vapeurs extrêmement radioactifs, ce qui ne laissait plus qu'une seule barrière pour protéger la population des environs, à savoir l'enceinte de confinement, dont le taux de fuite était connu et ne pouvait qu'augmenter sous l'effet de

la pression interne [66]. Cependant, les autorités n'avaient pas suffisamment délimité les zones à risque en dehors du site avant l'accident. Par conséquent, il leur a été difficile de déterminer le périmètre à évacuer. La perplexité des autorités est devenue manifeste pour le public, qui a perdu confiance en elles, si bien que la population locale s'est montrée moins disposée à se fier à leurs recommandations.

Diverses études et expériences montrent aussi l'imprévisibilité des rejets dans l'atmosphère lors de situations d'urgence graves dans des installations des catégories de menaces I et II [68]. Ceux-ci peuvent suivre des voies de rejet non surveillées et commencer dans les minutes qui suivent l'endommagement du cœur. Par conséquent, les exploitants d'installations ne peuvent pas prédire avec certitude la survenance d'un rejet majeur de matières radioactives, l'ampleur et la durée d'un tel rejet, ou ses conséquences radiologiques [68]. Toutefois, certaines études montrent également que si des actions protectrices préventives (telles que l'évacuation, la mise à l'abri, l'administration d'iode stable et la limitation de la consommation de produits alimentaires et d'eau pouvant être contaminés) sont prises rapidement dès que l'on constate dans l'installation des conditions qui pourraient conduire à l'endommagement (la mise à nu) du combustible, les conséquences hors site s'en trouveront considérablement réduites [35, 68]. Ces actions protectrices préventives doivent être rapidement suivies par des mesures de surveillance une fois qu'un rejet s'est produit, et de nouvelles actions protectrices urgentes doivent être mises en œuvre sur la base des résultats de cette surveillance. L'évacuation s'est révélée être l'action la plus efficace pour protéger les personnes se trouvant à proximité de l'installation si elle peut être mise en œuvre assez rapidement.

La mise à l'abri dans des bâtiments est une action protectrice tentante, car elle peut réduire les risques encourus par les personnes tout en évitant les perturbations causées par une évacuation. Cependant, son efficacité contre les rejets radioactifs aériens est variable et dépend de la structure des bâtiments. En général, seuls les grands bâtiments en dur et les abris spécialement aménagés offrent une bonne protection. Pour qu'elle soit efficace, il faut aussi que les occupants étanchéifient le bâtiment, ferment avant l'arrivée du panache les systèmes de ventilation dont celui-ci est éventuellement équipé et l'aèrent dès que possible après le passage du panache. Il semblerait aussi que le public ne croie pas à son efficacité [59, 69]. Il ressort d'autres travaux de recherches qu'au moins 50 % des personnes auxquelles il avait été conseillé de se mettre à l'abri sur place lors d'un rejet de produits chimiques toxiques avaient préféré opter pour l'évacuation [70].

L'administration d'iode stable avant ou peu de temps après l'incorporation d'iode radioactif peut réduire considérablement la dose à la thyroïde [71]. Lors de l'accident de Tchernobyl, les autorités polonaises ont distribué 17,5 millions de doses d'iode stable, et seuls deux adultes dont la sensibilité à l'iode était connue ont présenté de façon passagère des effets secondaires sérieux [72]. Il a été reconnu lors d'une réunion technique AIEA/OMS tenue en septembre 2001 que l'administration précoce d'iode stable à la population permettait de protéger efficacement la thyroïde afin de prévenir les effets déterministes et réduire au minimum les effets stochastiques, quel que soit l'âge. Cependant, cette action a principalement pour objet la protection de l'enfant ainsi que de l'embryon ou du fœtus [1, additif à l'annexe III].

Les cancers de la thyroïde radio-induits enregistrés après l'accident de Tchernobyl étaient dus à une exposition interne résultant de la consommation de lait et de légumes à feuilles

contaminés par l'iode 131. La grande majorité des personnes touchées résidaient au moment de l'accident à plus de 50 km de la centrale, et des cancers excédentaires ont même été diagnostiqués à de plus de 300 km [73]. Ces cancers radio-induits auraient pu être évités si les autorités avaient donné pour instructions de ne pas consommer de lait tant qu'il n'avait pas été établi que ce produit n'était pas contaminé par l'iode 131. On aurait pu aussi distribuer de l'iode stable à la population avant qu'elle ne consomme du lait contaminé. Cependant, il aurait fallu pour cela que les autorités aient à leur disposition des millions de doses d'iode stable et les distribuent rapidement aux habitants de la zone contaminée. Il aurait fallu aussi qu'elles convainquent la population touchée de l'innocuité de l'iode stable.

Il est très difficile, voire impossible de donner des prévisions en temps réel de l'impact hors site d'un rejet atmosphérique grave qui pourraient servir base pour la mise en œuvre d'actions protectrices urgentes après la survenance d'un accident dans une installation des catégories de menaces I ou II [9, 19, 49], et ce non seulement en raison de l'insuffisance des données disponibles, mais aussi parce que les essais [74] et l'expérience [9, 37, 55] ont montré que les projections de dose informatisées ne pouvaient pas fournir assez rapidement des données de base précises permettant de prendre des actions protectrices à un stade précoce au voisinage de l'installation. Néanmoins, les instruments utilisés dans les installations des catégories de menaces I et II peuvent, dans la plupart des cas, détecter l'apparition de conditions accidentelles graves en temps utile pour que les exploitants puissent avertir de la nécessité de mettre en œuvre des actions protectrices avant ou peu après qu'un rejet se produise [37, 49, 54, 75]. Toutefois, ces actions ne pourront peut-être pas démarrer immédiatement si les plans d'urgence ne comprennent pas de mécanisme permettant de prendre rapidement des décisions en coordination avec les organismes hors site [76].

Quand une situation d'urgence survient dans une installation, la détection rapide de niveaux de rayonnement élevés (grâce, par exemple, à des alarmes de rayonnement/de criticité) et l'évacuation immédiate, conformément aux exercices effectués préalablement, permettent de sauver des vies [77]. Des opérations de recherche et de sauvetage doivent parfois être menées immédiatement sur le site. Ces opérations sont réalisées dans des conditions très dangereuses tandis que les autres membres du personnel de l'installation mènent d'autres opérations d'urgence. Elles sont généralement menées par les personnes les plus proches [58] et peuvent détourner l'attention et les efforts des autres tâches d'intervention d'urgence si elles n'ont pas été intégrées dans le plan d'intervention [56].

3.5.2. Conclusions

Ces enseignements montrent l'importance :

- d'agir rapidement, lorsque survient une situation d'urgence, afin d'empêcher les personnes menacées de recevoir des doses élevées et d'éviter ainsi des traitements médicaux onéreux (par exemple dans le cas de lésions radio-induites ou de cancers de la thyroïde) qui autrement seraient nécessaires ;

- de prendre, dans les installations des catégories de menaces I et II, des mesures qui tiennent compte de la situation de l'installation plutôt que de projections de dose établies à partir de données sur les rejets atmosphériques ou de la surveillance de l'environnement ;
- de définir à l'avance des critères d'intervention pour la protection du public dans le cas des installations des catégories de menaces I et II et des activités relevant de la catégorie IV, et d'éviter ainsi d'avoir à décider au cas par cas ;
- de coordonner les plans d'urgence contenant les critères relatifs aux actions protectrices urgentes avec toutes les autorités participant à l'intervention d'urgence.

Ces enseignements montrent également que :

- les craintes concernant les risques de panique et d'accidents de la circulation ne devraient pas empêcher de procéder à l'évacuation afin de protéger le public ;
- l'administration d'iode stable doit se faire rapidement pour prévenir efficacement l'absorption d'iode radioactif par la thyroïde, mais que cela peut poser des difficultés logistiques si la population touchée est importante ;
- lorsqu'une situation d'urgence grave (situation d'urgence générale) est détectée dans une installation des catégories de menaces I ou II, les actions protectrices à privilégier sont l'évacuation en temps opportun, la saturation de la thyroïde par de l'iode stable et la restriction de la consommation de produits alimentaires et d'eau pouvant être contaminés, puis, après un rejet, la mise en œuvre rapide de mesures de surveillance et d'autres actions protectrices urgentes. Ces actions permettront de réduire considérablement les conséquences hors site [35, 68]. Toutefois, si l'évacuation ne peut être réalisée rapidement, la mise à l'abri peut également être envisagée, mais il faut n'y recourir qu'avec prudence, en tenant compte de la nature de la situation d'urgence et de la façon dont les bâtiments sont construits. S'il est décidé d'y recourir, ce ne peut être qu'à titre temporaire ;
- la stratégie de protection à mettre en œuvre en cas de situation d'urgence doit être décidée à l'avance après avoir pris en considération les caractéristiques du site et de l'installation et les informations disponibles en ce que concerne l'efficacité de diverses actions protectrices. Dans le cas des installations de la catégorie de menaces I comme les réacteurs nucléaires de forte puissance ou les installations contenant de grandes quantités de combustible usé, une stratégie d'intervention efficace en cas de situation d'urgence donnant lieu à l'endommagement du cœur du réacteur ou du contenu d'une piscine de stockage de combustible usé prévoirait notamment :
 - l'adoption d'actions protectrices préventives à proximité (dans un rayon de 3 à 5 km)¹⁶ dès que sont détectées dans l'installation des conditions susceptibles d'entraîner l'endommagement du cœur ou du

¹⁶ Périmètre appelé « zone d'actions préventives ».

- combustible usé, sans attendre des projections de dose (trop lentes et trop incertaines) ;
- la mise en place rapide (en l'espace de quelques heures) d'une surveillance et d'actions protectrices urgentes (évacuation, par exemple) dans la zone située dans un rayon d'environ 30 km¹⁷ autour d'un réacteur de forte puissance ;
 - l'arrêt rapide de la consommation de produits locaux¹⁸, du lait produit par les animaux pâturant sur des terres contaminées ou de l'eau de pluie jusqu'à une distance de 300 km¹⁹, en attendant que des échantillons aient été prélevés et analysés ;
 - dans un délai de quelques jours, la réalisation d'une surveillance des dépôts au sol et la mise en route d'actions protectrices précoces (relogement, par exemple) dans la zone comprise dans un rayon de 250 à 300 km ;
- pour réduire la probabilité d'effets sanitaires imputables aux rayonnements au sein de la population dans une situation d'urgence grave, il est essentiel de faire en sorte que, dans un délai très court (dans l'heure suivant le moment où les critères préétablis sont dépassés), les actions protectrices urgentes à prendre à titre préventif soient arrêtées et le public en soit informé [35, 68] ;
 - bien qu'il faille avant tout se préoccuper, lors d'une situation d'urgence, des mesures à prendre pour en atténuer les conséquences, des critères sont également nécessaires pour déterminer le moment où les actions protectrices peuvent être levées. Les personnes qui ont été évacuées souhaiteront naturellement retourner chez elles et reprendre leurs activités normales. Donc, si des contremesures ont été prises à titre de précaution, il faudra, pour pouvoir les lever progressivement, évaluer la situation dans les zones touchées par rapport aux critères préétablis.

¹⁷ Périmètre appelé « zone de planification des actions protectrices urgentes ».

¹⁸ Produits cultivés à l'air libre qui sont susceptibles d'être contaminés par le rejet et qui sont consommés en l'espace de quelques semaines (par exemple les légumes à feuilles).

¹⁹ Distance appelée « rayon de restriction alimentaire ».

3.6. INFORMATIONS, INSTRUCTIONS ET AVERTISSEMENTS À L'INTENTION DU PUBLIC

Les principales prescriptions concernant les informations, les instructions et les avertissements à donner qui sont énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] sont les suivantes :

Intervention

- le public doit être rapidement averti et informé ;

Préparation

- s'agissant des installations des catégories de menaces I ou II, des dispositions doivent être prises pour que des avertissements et des instructions concernant l'intervention soient rapidement communiqués à la population et aux entités en dehors du site (exploitations agricoles, centres de distribution de produits alimentaires, par exemple), notamment dans la zone d'actions préventives, la zone de planification des actions protectrices et le rayon de restriction alimentaire.

3.6.1. Observations

Pendant les premiers jours de l'accident de TMI, des évaluations de la situation ont été communiquées simultanément aux médias et au public par différentes sources officielles – le site de la centrale, les autorités de l'État de Pennsylvanie et les sièges régional et national de l'organisme de réglementation. Ces évaluations étaient souvent erronées, incohérentes, trompeuses ou dépassées, ou ne répondaient pas aux préoccupations immédiates de la population locale. Cela a provoqué la perplexité et l'inquiétude du public, qui n'a plus fait confiance aux déclarations officielles. Le Président des États-Unis a remédié ultérieurement à ce problème en ordonnant que toutes les évaluations devaient provenir d'une seule source d'information officielle située à proximité du lieu de l'accident. [78].

Il est dit expressément dans la publication n° GS-R-2 [1] que « Pour les installations de la catégorie de menaces I ou II, des dispositions doivent être prises, avant et pendant les opérations, pour fournir des informations ... aux groupes de population permanents, temporaires et particuliers ». Cependant, il s'est produit dans des installations de la catégorie de menaces III des situations d'urgence qui ne présentaient aucun risque important pour la population en dehors du site mais qui ont fait craindre au public un éventuel risque radiologique en raison d'informations inexactes ou hypothétiques provenant des médias [79, 80]. Comme aucune disposition préalable n'avait été prise pour informer la population des risques que présentait l'installation, la population locale ne disposait d'aucune référence pour évaluer les informations communiquées par les médias. Par conséquent, elle n'a plus fait confiance aux autorités ni à l'exploitant de l'installation.

L'accident de Goiânia (dû à une source de la catégorie de menaces IV) a également montré la nécessité de répondre à la demande d'information du public en cas d'urgence

radiologique, la découverte de la contamination radioactive ayant d'emblée suscité une grande inquiétude au sein de la population et largement mobilisé l'attention des médias. En l'absence d'informations claires fournies par les autorités, les rumeurs ont abondé. Il s'est écoulé environ une semaine avant qu'il y ait un attaché de presse spécial disposant de personnel de soutien. Par conséquent, les médias et le public ont convergé vers les membres du personnel d'intervention, les détournant ainsi de leurs tâches principales. Il a fallu plusieurs jours aux autorités pour maîtriser l'accident et il a été reconnu par la suite que le fait de ne pas avoir informé rapidement la presse et le public avait été un important facteur de retard. Des ressources ont été ultérieurement mobilisées pour assurer la liaison avec les médias et le public, mais il a fallu du temps pour rétablir la confiance du public dans les actions menées par les autorités [13].

Ces problèmes de communication ne se limitent pas aux situations d'urgence radiologique. Lors de l'accident de Bhopal [81], qui s'est traduit par un rejet d'isocyanate de méthyle, la population locale a réagi au déclenchement de la sirène d'alerte en venant sur le site pour voir quel était le problème, au lieu de s'en éloigner et de prendre des précautions.

D'une manière générale, il semblerait que les exploitants d'installations susceptibles de présenter un danger pour les habitants des environs lors d'une situation d'urgence évitent d'informer ceux-ci des mesures à prendre dans une telle situation parce qu'ils ne veulent pas les inquiéter.

Avant l'accident de TMI, l'exploitant de la centrale avait organisé des programmes d'information pour convaincre les habitants des environs que l'énergie nucléaire était fiable et sûre. Au cours des discussions sur les risques liés à la centrale, seules les expositions courantes avaient été abordées et il avait été affirmé qu'un accident majeur était impossible. Par conséquent, lorsque l'accident s'est produit, la population locale n'avait aucune idée de ce qu'il convenait de faire.

Toutes les situations d'urgence graves, et bien d'autres qui le sont beaucoup moins, mobilisent très largement l'attention du public et des médias. En fait, il est maintenant habituel que les médias arrivent très rapidement à proximité des lieux touchés par une situation d'urgence. Cela peut être un facteur de pression supplémentaire pour les responsables de l'intervention, mais aussi un avantage si des informations claires sont fournies aux médias. Dans le cas des ouragans Katrina et Rita, le public a largement utilisé les médias comme source d'information [62]. Lors de la publication, deux jours après le début de l'accident de TMI, des actions protectrices recommandées, la population locale suivait de près les informations diffusées par les médias. Un comportement similaire a été observé dans d'autres situations d'urgence [82].

L'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres [33] a intensément mobilisé l'attention du public et des médias. Il a été tenu compte des enseignements des situations d'urgence antérieures et des efforts importants ont été faits pour renseigner rapidement le public sur la nature et l'ampleur des dangers et fournir des informations fiables et actualisées pendant toute la durée de l'incident. Les premières initiatives déterminantes ont consisté à publier des « questions-réponses » sur un site web (comportant des liens avec d'autres sites pertinents) et à tenir une conférence de presse pour donner des

informations sur ce qui s'était passé (dans la mesure où on le savait) et les interventions prévues, et relativiser les dangers. S'agissant de ce dernier point, il était crucial de faire savoir au public que ^{210}Po ne présentait pas de risque d'irradiation externe et n'était dangereux que s'il était incorporé.

Il était essentiel de tenir compte des besoins des médias et de leurs contraintes temporelles en mettant à leur disposition des membres du personnel pour des interviews et en leur fournissant des arrières-plans télévisuels, par exemple des laboratoires réalisant des analyses d'urine. Bien qu'étant difficile tant sur le plan logistique que du point de vue des ressources humaines, cela a été jugé nécessaire et efficace pour « garder la longueur d'avance » permettant d'obtenir et de conserver la confiance et la compréhension du public.

Des mécanismes avaient été mis en place pour assurer la coordination des communiqués de presse quotidiens entre les divers organismes concernés, de manière à présenter une vue unifiée de la situation. Parallèlement à l'intervention des services de santé publique, la police menait une enquête criminelle et il fallait trouver un équilibre entre la protection de la confidentialité des informations provenant de cette enquête et la nécessité d'informer le public. En cas de menace pour la sûreté du public, c'était ce dernier aspect qui primait.

L'un des principaux moyens utilisés pour communiquer avec le public a été NHS Direct (permanence téléphonique 24h/24h du National Health Service). Dans le cadre des dispositifs d'urgence mis en place pour faire face à tout type de problème de santé publique, NHS Direct constitue un point de contact central que les personnes du public désireuses d'obtenir des informations peuvent appeler. Des scripts algorithmiques questions/réponses étaient disponibles pour les incidents nucléaires et radiologiques, mais étant donné le caractère unique de l'incident d'empoisonnement au polonium, il a fallu les adapter rapidement. En outre, l'enquête policière et les mesures d'intervention ont permis de déterminer rapidement les lieux où des personnes avaient pu incorporer du ^{210}Po si elles s'y étaient rendues à des dates précises. Dans le cadre du processus visant à identifier les personnes pour lesquelles une évaluation de l'incorporation et de la dose pouvait être nécessaire, un appel a été lancé à leur intention dans les médias pour les inviter à contacter NHS Direct.

3.6.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- d'envisager la question des informations à fournir et des avertissements à adresser au public dans les plans d'intervention d'urgence pour les installations des catégories de menaces I et II ;
- s'agissant des installations des catégories de menaces I et II, de fournir, avant qu'une situation d'urgence ne survienne, à la population des zones qui seraient susceptibles d'être touchées, des informations sur les actions protectrices à prendre dans une telle éventualité. Cela créerait la confiance (en montrant à la population que les responsables ont ses intérêts à cœur) et se traduirait par une

meilleure application des actions protectrices recommandées dans une situation d'urgence réelle. En outre, cela permettrait de mieux faire connaître à la population les systèmes qui seraient utilisés pour l'avertir en cas d'urgence ;

- de veiller à ce que les informations fournies aux médias le soient de façon coordonnée et d'y pourvoir dans les plans d'urgence.

Ces enseignements montrent également :

- qu'il faut tenir compte du souhait du public d'être informé des événements survenant dans des installations de la catégorie de menaces III, ne serait-ce que pour s'assurer que des informations correctes sont données et apaiser les craintes inutiles ;
- qu'il faut réfléchir à l'avance aux moyens à utiliser pour informer le public dans une situation d'urgence concernant une activité de la catégorie de menaces IV ;
- que la qualité de l'information communiquée aux personnes menacées détermine dans une large mesure la capacité de celles-ci à se protéger. La mise en œuvre d'une action protectrice par le public est nettement plus élevée lorsque le premier signal d'avertissement (par exemple une sirène) est suivi d'un message (diffusé, par exemple, par haut-parleur ou par la radio) décrivant la menace, les zones menacées (où des actions protectrices sont nécessaires) et celles qui ne le sont pas (où de telles actions ne sont donc pas nécessaires). Ce message doit indiquer le lieu où l'événement s'est produit, la nature du danger radiologique et le degré de gravité et d'immédiateté de la menace. Il est essentiel qu'il délimite les zones à risque par référence à des frontières politiques et géographiques qui seront facilement reconnues par les habitants, indique les mesures précises qu'il leur est recommandé de prendre pour se protéger et donne le nom de l'autorité légitime dont émanent ces recommandations. Il est également important que ce message soit clair, cohérent et diffusé de façon répétée ;
- que l'on ne peut pas s'attendre à ce que les personnes qui sont de passage dans une zone touchée par une situation d'urgence comprennent les signaux d'alerte et connaissent les points de repère locaux, de sorte que des mécanismes spécifiques seront nécessaires pour les contacter et les conseiller ;
- que les médias (par exemple les stations de radio locales) peuvent être utilisés efficacement comme moyen d'alerte principal lorsqu'une situation d'urgence survient dans un endroit imprévu (relevant de la catégorie de menaces IV) et en complément d'autres systèmes d'alerte.

3.7. PROTECTION DES MEMBRES DES ÉQUIPES D'INTERVENTION

Les principales prescriptions relatives à la protection des membres des équipes d'intervention énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

Intervention

- les dispositions à prendre pour assurer cette protection ;

Préparation

- la désignation comme membres des équipes d'intervention de travailleurs susceptibles d'intervenir pour sauver des vies, éviter une dose collective élevée ou empêcher que la situation ne tourne à la catastrophe ;
- la désignation comme membres des équipes d'intervention des personnes appelées à intervenir dans une installation de la catégorie de menaces I, II ou III, dans la zone d'actions préventives ou dans la zone de planification des actions protectrices urgentes ;
- la nécessité d'informer les premiers intervenants des risques de radioexposition et de la signification des panneaux et affiches signalant ces risques ;
- l'adoption d'orientations nationales concernant la gestion, le contrôle et l'enregistrement des doses reçues par les membres des équipes d'intervention ;
- s'agissant des installations des catégories de menaces I, II ou III, la nécessité de recenser les conditions dangereuses anticipées dans lesquelles les membres des équipes d'intervention pourraient être appelés à travailler ;
- les dispositions à prendre pour protéger les membres des équipes d'intervention ;
- l'application intégrale du système de radioprotection professionnelle une fois la phase d'urgence terminée ;
- la nécessité d'informer, une fois l'intervention terminée, les travailleurs concernés des doses qu'ils ont reçues et des risques qui en résultent pour eux ;
- la nécessité de mentionner dans les plans d'intervention la personne chargée de veiller au respect des prescriptions relatives à la protection des travailleurs.

3.7.1. Observations

La gravité de l'accident de Tchernobyl a nécessité des actions héroïques. Des travailleurs ont dû pénétrer dans le bâtiment endommagé pour porter secours à leurs collègues blessés. Il a fallu en outre, pour évaluer la quantité et la nature des rejets radioactifs dans l'atmosphère, faire voler des avions à travers le panache sur le site et à proximité. On a également essayé d'éteindre l'incendie et de réduire les niveaux de radioactivité en larguant des matériaux par hélicoptère directement à travers le toit endommagé. Ces activités essentielles n'auraient pas pu être réalisées sans dépasser les limites de doses annuelles fixées pour l'exposition professionnelle.

Lors de l'accident, de nombreux membres des équipes d'intervention, dont des pompiers venus de l'extérieur, ont reçu des doses de rayonnement extrêmement élevées, qui dans certains cas ont été mortelles. Cela a été dû notamment à la saturation des instruments de surveillance, qui a empêché de mesurer les doses individuelles sur une base continue, au caractère inadapté des tenues de protection et à l'insuffisance de la formation. Les tenues normales des pompiers n'offraient pas une protection adéquate contre le rayonnement bêta, ce qui s'est soldé par de graves brûlures par irradiation et, dans certains cas, par des décès.

À TMI, les mesures d'intervention nécessaires et la dangerosité de la situation auraient pu être anticipées à partir d'études d'accidents. Néanmoins, on manquait d'instruments de surveillance et de dosimètres à lecture directe offrant une plage de mesure élevée ainsi que de matériel de protection respiratoire.

L'intervention consécutive à l'accident de Goiânia a duré plusieurs mois et les membres des équipes d'intervention ont accompli de nombreuses tâches très stressantes. Certains ont dû prendre des mesures de radioprotection dans les hôpitaux en contact étroit avec les victimes de l'accident, voire exécuter des activités de surveillance radiologique pendant les autopsies des quatre personnes décédées. Des années après, ils subissaient encore des séquelles psychologiques [83].

Après la phase d'urgence lors des accidents de Tchernobyl et de Goiânia, il a fallu plusieurs mois pour mettre en œuvre un système de radioprotection couvrant les nombreux participants à la phase post-urgence. Dans le cas de Tchernobyl, l'absence de relevés détaillés des doses reçues par les personnes ayant participé aux opérations d'urgence et post-urgence a rendu leur suivi médical problématique.

Les doses que reçoivent les membres des équipes d'intervention ayant pour mission de récupérer des sources non contrôlées peuvent être réduites au minimum en mettant en place un système de radioprotection qui sera opérationnel dès le début des opérations de récupération. Il faudra pour cela repérer avec soin l'emplacement de la source, se procurer les ressources nécessaires (écrans de protection contre les rayonnements, dosimètres et conteneur blindé, par exemple), déterminer les moyens de réduire au minimum les doses lors des opérations de récupération et s'exercer à l'exécution de ces opérations [21, 25].

3.7.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important que :

- les membres des équipes d'intervention soient préalablement informés des risques de façon claire et détaillée, et, dans la mesure du possible, formés aux opérations qui pourraient être nécessaires ;
- les membres des équipes d'intervention soient dotés d'équipements de protection et de surveillance appropriés, et que ces équipements soient facilement accessibles et disponibles en quantités suffisantes pour la situation d'urgence postulée ;
- le plan d'urgence tienne compte des besoins des membres des équipes d'intervention ;
- les doses reçues par les membres des équipes d'intervention soient correctement évaluées et comptabilisées aux fins du suivi médical ultérieur.

Ces enseignements montrent aussi qu'un rejet de matières radioactives peut entraîner une exposition tant interne qu'externe. Or, les dosimètres individuels à lecture directe qui, très souvent, ne mesurent que l'exposition aux rayonnements externes pénétrants, ne donnent pas forcément une indication suffisante du danger. Par conséquent, des critères

supplémentaires peuvent être nécessaires pour gérer l'exposition des membres des équipes d'intervention.

3.8. ÉVALUATION DE LA PHASE INITIALE

Les principales prescriptions relatives à l'évaluation de la phase initiale énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

Intervention

- l'évaluation de l'ampleur et de l'évolution probable des conditions dangereuses tout au long de la situation d'urgence ;
- le contrôle radiologique et l'échantillonnage et l'évaluation de l'environnement ;
- les informations à fournir à tous les organismes d'intervention ;

Préparation

- les dispositions que les exploitants de pratiques ou de sources de la catégorie de menaces IV doivent prendre pour caractériser la situation, lancer l'intervention, identifier les personnes qui ont pu être exposées et communiquer avec les organismes d'intervention hors site ;
- les dispositions que les exploitants d'installations des catégories de menaces I, II ou III doivent prendre pour évaluer la situation et les expositions et utiliser cette information aux fins des actions protectrices ;
- les dispositions à prendre dans la zone d'actions préventives et la zone de planification des actions protectrices urgentes pour évaluer rapidement la situation radiologique afin de déterminer les actions protectrices urgentes nécessaires ;
- les dispositions que l'équipe de spécialistes des rayonnements qui assiste les premiers intervenants doit prendre pour identifier les radionucléides et délimiter les zones dans lesquelles des actions protectrices urgentes sont justifiées ;
- les dispositions à prendre pour assurer l'enregistrement et la conservation des informations.

3.8.1. Observations

Dans certaines situations d'urgence, des données factuelles sur ce qui s'est passé et les conséquences possibles sont disponibles dès le début de l'intervention, mais dans de nombreux autres cas, ces données ne transparaissent que progressivement de diverses sources et activités. Il est donc important de savoir quelles sont les principales données qui sont nécessaires et de disposer de mécanismes clairs pour les réunir afin d'avoir une vue globale de la situation. Par exemple, lors de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres, le fait que la personne empoisonnée avait absorbé une substance et des indications concernant quelques endroits où cette personne s'était rendue au cours des semaines précédentes constituaient les premiers éléments disponibles. L'évaluation de risque initiale a permis de déterminer l'existence d'une menace importante pour la santé publique dans la mesure où les événements qui avaient conduit à

l'empoisonnement, les résidus éventuels et les fluides corporels de la victime étaient susceptibles de propager la contamination. En outre, à ce stade, rien ne permettait de supposer qu'il s'agissait d'un événement isolé ni qu'il n'y avait qu'une seule victime. Une stratégie d'intervention visant à protéger la santé publique a été rapidement élaborée [33]. Dans le cadre de cette stratégie, on s'est employé en priorité à vérifier auprès des autres hôpitaux de la région qu'aucune autre victime ne souffrait ou n'avait souffert des mêmes symptômes et à surveiller les endroits les plus susceptibles d'être contaminés, par exemple le domicile de la victime, les hôpitaux où elle avait été traitée et les endroits où on savait qu'elle s'était rendue.

La surveillance précoce de la contamination dans les endroits signalés a révélé des niveaux de contamination confirmant la possibilité d'une menace pour la santé publique, mais a également montré que cette contamination était ponctuelle, dans une large mesure fixée sur les surfaces où elle avait été détectée et peu dispersée. Cela a permis d'affiner l'évaluation de risque globale et de se concentrer ensuite sur l'évaluation des divers mécanismes de transfert et de propagation de la contamination et d'incorporation des matières radioactives. Sur cette base, des questionnaires de triage ont été élaborés afin de déterminer les groupes de membres du personnel, de clients et de visiteurs dans les hôtels, les restaurants et les bureaux qui auraient pu être les plus exposés et auxquels il fallait proposer un suivi personnalisé reposant sur une technique d'analyse d'urine. À mesure que l'enquête policière avançait, d'autres endroits nécessitant une surveillance ont été identifiés. Le regroupement de ces flux de données au sein du principal organisme de santé publique a permis de distinguer des modes de transfert de la contamination qui ont aidé à affiner les évaluations des risques et qui ont également été reversés au dossier de l'enquête policière.

Comme de nombreux organismes participaient à l'intervention, il était important d'avoir une vision cohérente de la situation et d'agir de façon coordonnée. Les efforts nécessaires pour y parvenir ont été orchestrés par le Civil Contingencies Committee (CCC), organe gouvernemental au sein duquel les divers organismes d'intervention étaient représentés. Une interprétation commune de l'information, appelée Common Information Image Picture (CRIP), constituait un élément essentiel des travaux du CCC. Deux heures avant que celui-ci se réunisse, chaque organisme devait présenter un rapport de situation, à partir duquel la CRIP était établie. Ce délai donnait le temps de vérifier les données éventuellement divergentes et permettait au CCC de concentrer son attention sur la stratégie d'intervention. Toute information de dernière minute ou mise à jour importante pouvait être communiquée pendant la réunion.

3.8.2. Conclusions

Ces enseignements montrent que :

- l'évaluation de la gravité et de l'étendue d'un problème étant un processus évolutif, les responsables de l'intervention devraient s'y employer de façon continue afin de vérifier la validité de l'évaluation initiale et de surveiller l'évolution de la situation.

3.9. GESTION DE L'INTERVENTION MÉDICALE

Les principales prescriptions relatives à la gestion de l'intervention médicale énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] sont les suivantes :

Intervention

- un médecin ou toute autre personne qui constate des symptômes de radioexposition doit le signaler ;
- toute personne recevant une dose qui pourrait entraîner des effets déterministes graves sur la santé doit bénéficier d'un traitement spécialisé ;
- des mesures doivent être prises pour détecter une augmentation des cas de cancer chez les membres des équipes d'intervention et le public ;

Préparation

- des dispositions doivent être prises pour sensibiliser le personnel médical aux symptômes d'une radioexposition et aux procédures de notification et autres actions nécessaires ;
- dans les installations des catégories de menaces I, II ou III, des dispositions doivent être prises pour traiter des travailleurs contaminés ou surexposés ;
- dans les zones d'urgence d'une installation de la catégorie de menaces I, un plan de gestion médical à des fins de dépistage doit être établi ;
- des dispositions doivent être prises au niveau national pour le traitement des personnes exposées ou contaminées ;
- des dispositions doivent être prises en vue de l'identification et de la surveillance et du traitement à long terme des personnes appartenant aux groupes qui risquent de connaître une augmentation détectable des cas de cancer.

3.9.1. Observations

Un certain nombre de situations d'urgence relevant des catégories de menaces III et IV ont été découvertes par les médecins qui traitaient les victimes. On peut citer comme exemples, pour la catégorie III, les accidents dont ont été victimes des patients de radiothérapie au Costa Rica [20] et des travailleurs dans une installations d'irradiation à San Salvador [14] et, pour la catégorie IV, ceux survenus à Goiânia [13], en Thaïlande [25] et en Turquie [21]. Les médecins locaux n'ayant aucune expérience du diagnostic des lésions radio-induites, il a souvent fallu un certain temps pour que l'éventualité d'une exposition aux rayonnements soit envisagée. Un diagnostic précoce de la cause des lésions aurait peut-être empêché d'autres lésions, voire des décès.

En outre, l'incapacité de diagnostiquer correctement la cause des lésions a conduit à prescrire un traitement inadéquat. Par exemple, à l'occasion d'une visite médicale annuelle, le médecin n'a pas diagnostiqué correctement les symptômes d'irradiation que présentait une personne qui avait auparavant subi une forte exposition aux mains en dépit

du fait que celle-ci lui avait dit qu'elle avait peut-être été exposée aux rayonnements [17]. Il a fallu attendre 14 jours de plus pour que soit posé le diagnostic d'irradiation aiguë.

Il est avéré que les lésions radio-induites évoluent avec le temps et affectent les tissus profonds. Il est donc essentiel de connaître le profil de la dose reçue par le patient. Or, certains médecins qui l'ignoraient ont supposé à tort que les lésions radio-induites ne nécessitaient qu'un traitement classique qui pouvait être administré localement et n'ont pas pris en considération le pronostic de viabilité du tissu exposé en fonction de la dose [17]. Cela a conduit à des traitements inadéquats (par exemple pour sauver le tissu) et retardé le traitement requis. Après les accidents survenus dans des installations d'irradiation en Italie en 1975 [29] et à San Salvador en 1989 [14], les médecins qui ont traité les lésions radio-induites n'ont pas reçu de description des premiers symptômes ni d'informations suffisantes pour pouvoir reconstituer la dose. Dans le cas de l'accident de San Salvador, les patients ont ensuite été envoyés dans un autre pays disposant de personnel médical plus expérimenté et de meilleures installations.

Pour traiter un cas de surexposition grave, il peut être nécessaire de recourir à des médicaments spécialisés qui ne sont pas disponibles partout, à une thérapie de remplacement et à la chirurgie, en fonction des symptômes cliniques et du pronostic établi à partir de la reconstitution de la dose. Seuls quelques centres médicaux dans le monde ont une expérience solide en matière de traitement spécialisé des lésions radio-induites. Toutefois, en fonction de leur gravité, et sous réserve qu'un diagnostic approprié soit posé et que des experts soient consultés, certaines lésions radio-induites pourraient aussi être efficacement traitées dans des hôpitaux locaux, ce qui aurait l'avantage de réduire le stress psychologique que subiraient les patients s'il fallait les envoyer dans un autre pays pour être traités.

Lors de l'accident de San Salvador, la coopération entre plusieurs gouvernements et organisations internationales en vue de la fourniture de services d'experts en matière de traitement médical et de dosimétrie a été retardée en raison du recours aux procédures administratives normales pour adresser les demandes d'assistance [14].

Quoi qu'il en soit, la coopération et l'assistance internationales sont essentielles pour faire face aux difficultés que soulève la prise en charge médicale des patients surexposés.

Dans le cas de situations d'urgence radiologique de grande ampleur comme les accidents de Tchernobyl ou de Goiânia, un triage des patients paraît nécessaire. À Goiânia, les autorités ont mis en place un dispositif de traitement médical à trois niveaux, le premier pour la décontamination et les deux autres pour la prise en charge respectivement des patients qui avaient reçu des doses comprises entre 1 et 2 Gy et de ceux qui avaient reçu des doses supérieures à 2 Gy ou subi des lésions locales radio-induites exigeant qu'ils soient isolés et bénéficient d'une thérapie de remplacement. Cependant, cette stratégie obligeait à séparer les familles et à prévoir de multiples installations médicales disposant de médecins et de physiciens médicaux expérimentés en matière de traitement de la contamination. Les effectifs de personnel expérimenté étaient parfois très réduits, les installations avaient des difficultés à gérer la contamination et les déchets contaminés, et certains membres du personnel médical craignaient de subir une exposition aux rayonnements et une contamination radioactive au contact des patients [13].

Parmi les personnes qui ont été exposées pendant leur enfance à l'iode radioactif rejeté lors de l'accident de Tchernobyl, certaines sont atteintes de cancers de la thyroïde radio-induits. Ces cancers doivent être dépistés à un stade précoce, ce qui nécessite un suivi à long terme de la population exposée. Ainsi, le Bélarus a mis en place un programme de surveillance médicale des personnes présentant un risque accru de développer un cancer de la thyroïde. Le taux de mortalité chez les personnes dont le cancer de la thyroïde a été dépisté par ce programme est nettement inférieur au taux mondial correspondant [84].

Après la découverte de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres, l'une des premières préoccupations a été de savoir s'il n'y avait pas d'autres victimes présentant des symptômes aigus qui n'avaient pas encore été dépistées. Pour faire face à cette éventualité, les trois mesures suivantes ont été prises dans le cadre de l'intervention : 1) les hôpitaux de la région de Londres ont été contactés directement pour vérifier si l'un quelconque de leurs patients présentait ou avait présenté les symptômes pertinents ; 2) le Chief Medical Officer du Gouvernement a publié une lettre d'alerte devant être transmise à tous les professionnels de la santé ; 3) les questionnaires de triage utilisés par NHS Direct et les équipes de santé publique affectées aux endroits touchés comprenaient des questions ayant pour but d'identifier les personnes susceptibles de présenter les symptômes pertinents. Ainsi, 186 personnes devant faire l'objet d'examens plus poussés ont été identifiées, dont 29 ont été dirigées vers une clinique spécialisée pour évaluation.

Heureusement, il s'est avéré qu'aucune autre personne ne souffrait de symptômes d'irradiation aiguë. Néanmoins, les actions ci-dessus étaient nécessaires pour s'assurer que tel était bien le cas.

Tant à Goiânia qu'à Londres, un grand nombre de personnes du public étaient susceptibles d'avoir incorporé des matières radioactives en raison de la propagation de la contamination. Lors de ces événements, il a fallu élaborer des programmes de triage et de surveillance médicale individuelle ainsi que, d'une manière générale, rassurer le public dans le cadre des efforts visant, avec la surveillance de l'environnement, à évaluer en permanence les risques pendant l'intervention, c'est-à-dire comprendre ce qui s'était passé et en déterminer les conséquences. Les radionucléides en cause dans les deux événements, ^{137}Cs (un émetteur bêta/gamma) et ^{210}Po (un émetteur alpha), ont soulevé des problèmes différents en matière de triage, de surveillance et de prise en charge des patients. Ces expériences ont montré qu'il était important d'avoir des plans pour faire face à ces problèmes et les capacités voulues pour mettre ces plans en œuvre dans différentes situations.

À Goiânia, 112 000 personnes ont dû ou ont souhaité (pour se rassurer) faire l'objet d'une surveillance. ^{137}Cs étant un émetteur gamma, il a été facile sur le plan technique d'effectuer le triage au moyen de moniteurs portatifs, malgré l'importance des moyens logistiques et des ressources nécessaires. Dans le cas des personnes dont on pensait qu'elles avaient pu être contaminées, des analyses d'échantillons d'urine et/ou de matières fécales ont été réalisées pour évaluer les doses. Le fait que les échantillons actifs à analyser ont dû être envoyés à des laboratoires réputés qui se trouvaient à plus de 1 000 km a retardé l'obtention des résultats et soulevé des difficultés logistiques. Il est conclu dans le document [13] que les plans d'intervention d'urgence devraient pourvoir à

la présence de matériel transportable d'analyse de prélèvements biologiques et de surveillance du corps entier, ainsi que de spécialistes formés pour adapter les procédures normales à des situations anormales. Depuis, de nombreux pays ont renforcé leurs capacités dans ce domaine.

Dans le cas de l'incident de Londres, ^{210}Po étant un émetteur alpha presque pur, les problèmes étaient différents. Le recours à la surveillance externe à des fins de triage n'était pas possible. Il a fallu utiliser comme critères de triage les endroits où les personnes s'étaient rendues et ce qu'elles avaient fait. La surveillance de l'environnement a permis de déterminer, parmi des dizaines d'autres, 11 endroits présentant le plus fort risque d'incorporation, dont certains (des hôtels et des restaurants) avaient vu passer des milliers de personnes. Une équipe de santé publique a été affectée à chacun de ces endroits. Avec l'aide de spécialistes de la radioprotection, chaque équipe a élaboré un questionnaire spécifique pour chaque endroit afin d'identifier les personnes les plus susceptibles d'avoir incorporé du ^{210}Po et de leur proposer une surveillance individuelle consistant en une analyse d'échantillons d'urine sur 24 heures. Les équipes de santé publique étaient chargées d'assurer l'envoi des échantillons d'urine aux laboratoires pour analyse et de communiquer les résultats aux intéressés, ainsi que de rassurer le personnel travaillant dans les endroits en question. Ces contacts ont été compliqués par le fait que de nombreux membres du personnel hôtelier n'étaient pas de langue maternelle anglaise. Les enseignements à tirer en l'occurrence concernent le recours à des spécialistes de disciplines autres que la radioprotection pour communiquer avec le public. Les membres des équipes de santé publique avaient une formation en matière de lutte contre les maladies transmissibles et les incidents chimiques et étaient de ce fait habitués à répondre aux préoccupations du public. Avec l'aide de spécialistes de la radioprotection, ils ont pu assumer des tâches prenantes qui autrement auraient mobilisé des ressources de radioprotection précieuses au cours de l'intervention de longue durée à laquelle cet incident a donné lieu.

Lors de l'incident, il a été proposé aux personnes intéressées de faire inscrire leur nom et leurs coordonnées sur un registre permanent sécurisé pour le cas où il aurait été nécessaire ou utile de les contacter ultérieurement. Finalement, il n'a pas été jugé indispensable d'établir un tel registre, car les niveaux d'exposition ne nécessitaient pas un suivi à long terme. Toutefois, une telle décision ne pouvait pas, faute d'information, être prise lors de la phase initiale de l'intervention. L'expérience acquise lors d'incidents non radiologiques antérieurs montre que si l'on ne commence pas à un stade précoce à recueillir des données concernant les personnes touchées, il est difficile de le faire par la suite. Par conséquent, des ressources ont été affectées à la collecte de ces données à titre de précaution.

Tant à Goiânia qu'à Londres, les patients étaient une source de danger pour le personnel soignant et traitant. Dans les deux cas, des matières radioactives étaient présentes dans les excréments corporels (urine, fèces, vomi et sueur). À Goiânia, les patients constituaient également un risque d'exposition externe et il a fallu du temps pour que les médecins et les infirmiers surmontent les craintes qu'ils avaient pour leur sécurité, et rares étaient ceux qui possédaient des connaissances en la matière. Cette expérience est importante pour les programmes de formation du personnel médical, l'information des professionnels de la santé et l'élaboration des plans d'urgence.

Lors de l'incident de Londres, les soins et les traitements prodigués au patient l'ont été en grande partie avant que l'on sache que celui-ci avait incorporé du ^{210}Po . Il est intéressant de noter que, malgré le niveau élevé d'activité des fluides corporels du patient, les niveaux de contamination observés dans les hôpitaux étaient relativement faibles (en raison des régimes de nettoyage en profondeur mis en place pour empêcher la propagation des infections) et que la radioactivité incorporée par les membres du personnel hospitalier ayant traité le patient était également faible (en raison de l'utilisation systématique de matériel de protection individuelle et de procédures de lutte contre les infections). Les analyses ont montré que la personne ayant reçu la plus forte dose après le patient lui-même était son épouse, qui s'était occupée de lui à domicile les premiers jours.

À Goiânia comme à Londres, il a fallu pratiquer des autopsies sur des cadavres hautement radioactifs. Des procédures de sûreté appropriées ont été élaborées et des installations ont été temporairement adaptées pour que ces autopsies puissent être effectuées de façon efficace et sûre. Il est donc nécessaire que les dispositions d'urgence pourvoient à de telles éventualités.

3.9.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important que :

- les professionnels de la santé soient formés au diagnostic des lésions radio-induites et comprennent les difficultés que soulève leur traitement ;
- les médecins appelés à traiter des patients ayant subi une exposition susceptible d'entraîner des dommages aux tissus ou reçu des doses potentiellement mortelles consultent rapidement des collègues ayant une expérience du traitement des expositions graves et transfèrent les patients dans un hôpital spécialisé si cela est justifié ;
- les personnes participant à l'intervention d'urgence rassemblent suffisamment d'informations pour permettre de reconstituer le profil de dose des personnes fortement exposées, afin de pouvoir déterminer l'évolution des dommages et le traitement nécessaire. Ces informations sont notamment les suivantes :
 - a) estimations de la dose reçue par le corps entier ou des tissus ;
 - b) photographies/schémas de l'installation/de la pratique en cause ;
 - c) description de la source d'exposition (activité, radionucléide, débit de dose à 1 m, par exemple) ;
 - d) description détaillée des circonstances de l'exposition (endroits où se trouvait la personne à différents moments, par exemple) ;
 - e) lectures de tous les dosimètres individuels (de tous les membres du personnel) ou d'autres dispositifs de surveillance ;
 - f) échantillons des articles portés par la personne surexposée ;

- g) description complète et heure d'apparition des premiers symptômes cliniques éventuels ;
 - h) résultats d'un examen médical général de tous les systèmes et organes, y compris la peau et les muqueuses visibles ;
 - i) examen hématologique complet afin de détecter la première vague de symptômes liés à l'exposition ;
- les autorités établissent des plans et des procédures pour : trier les victimes et les transporter jusqu'à des installations médicales appropriées, s'assurer que l'effectif de personnel médical disponible sera assez nombreux pour prendre en charge le nombre supposé de victimes, recueillir des données dosimétriques individuelles et communiquer ces données aux médecins, obtenir le concours d'experts pour le diagnostic et le traitement des lésions radio-induites et diriger les patients ayant subi une exposition importante vers des installations ayant l'expérience du traitement de ces lésions ;
 - le plan national d'urgence comprenne des dispositions permettant de demander rapidement l'aide d'urgence d'organisations internationales pour la prise en charge des victimes en application de la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique [51] ;
 - des critères soient établis pour déterminer les groupes qui ont été fortement exposés et qui devraient faire l'objet d'un suivi médical à long terme permettant une détection précoce du cancer.

Il ressort également de ces enseignements qu'il faut réduire autant que faire se peut l'impact psychologique du traitement des lésions radio-induites et donc que les patients doivent être traités le plus près possible de leur domicile ou dans une région de même langue et de même culture. Des dispositions devraient être prises pour que le patient puisse être accompagné par des membres de sa famille lorsqu'il doit être traité à l'étranger.

3.10. INFORMATION DU PUBLIC

Les principales prescriptions relatives à l'information du public énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

Intervention

- la nécessité d'avertir le public ;

Préparation

- les dispositions à prendre pour informer le public ;
- les dispositions à prendre pour coordonner la communication d'informations au public.

3.10.1. Observations

L'expérience montre que lors d'une situation d'urgence, quelle qu'en soit la nature, la pression qu'exercent le public et les médias pour obtenir des informations est intense, et depuis que des bulletins d'informations sont diffusés 24 heures sur 24, cette pression a encore gagné en intensité. Il n'est pas rare que des journalistes arrivent sur les lieux d'une situation d'urgence peu de temps après que celle-ci ait été détectée et en observent directement l'évolution. En outre, les personnes qui pensent qu'elles ont pu être directement touchées vont essayer de mener leurs propres investigations, ce qui constitue un facteur de pression supplémentaire. Ainsi, dans le cas d'un accident d'avion, par exemple, il est normal que la compagnie aérienne mette rapidement en place une ligne téléphonique pour répondre aux demandes de renseignements des personnes qui pensent qu'un membre de leur famille ou un ami est peut-être concerné.

Il existe de nombreux exemples de situations d'urgence radiologique où la demande d'information avait été sous-estimée, et comme aucun dispositif détaillé n'avait été mis en place pour répondre à cette demande, les responsables de la gestion de l'intervention ont été dépassés, ce qui a limité l'efficacité de leurs efforts visant à faire face à la situation d'urgence proprement dite. Ce fut notamment le cas à TMI (catégorie de menaces I) et à Goiânia (catégorie de menaces IV).

L'expérience montre également que la demande d'information n'est pas nécessairement fonction de la gravité de la situation d'urgence, telle qu'estimée par les responsables de la gestion de cette situation, du moins dans l'immédiat. Ce fut le cas aux États-Unis en janvier 1986 lors d'un rejet accidentel d' UF_6 consécutif à la rupture d'un conteneur (catégorie de menaces III). Un travailleur est mort, mais la contamination par l'uranium à l'extérieur du site ne présentait aucun risque radiologique important pour le public. Néanmoins, cet événement a fait l'objet d'une large couverture médiatique. Les responsables n'y étaient pas préparés et ont donc été incapables de réagir rapidement aux informations trompeuses qui circulaient. Le fait de ne pas avoir fourni aux médias des évaluations officielles précises et cohérentes a provoqué une peur injustifiée de contamination parmi la population locale. Par conséquent, une surveillance étendue a été nécessaire simplement pour rassurer le public et les responsables locaux [80].

Cet exemple montre qu'une mauvaise gestion de l'information peut obliger les autorités à prendre des mesures qui pourraient ne pas être nécessaires pour atténuer les conséquences radiologiques d'une situation d'urgence. Lors de l'accident dû à une source orpheline en Thaïlande, les personnes chargées de récupérer la source portaient des tabliers de plomb pour donner l'impression aux médias qu'elles étaient correctement protégées. Or, ces tabliers, ne constituent pas un moyen efficace de réduire le débit de dose de rayonnement gamma émis par le cobalt 60 et ont certainement ralenti les travaux [25]. Lors de l'intervention consécutive à la perte d'une source en Turquie [21], de fortes pressions ont été exercées, principalement par les médias, pour que la zone où se trouvait la source soit recouverte de béton afin de réduire le danger. En l'occurrence, il a été décidé de ne pas céder à ces pressions, car cela aurait rendu la récupération plus difficile et empêché de localiser d'autres sources.

Si l'information n'est pas soigneusement gérée, il y a de fortes chances pour que les médias sollicitent les vues d'experts « auto-proclamés », de médecins locaux et d'autres personnes respectées au sein de la communauté. Des informations confuses, contradictoires ou trompeuses peuvent alors conduire à des actions injustifiées et parfois nuisibles de la part du public. À TMI, la recommandation d'évacuation a été suivie par beaucoup plus de personnes que celles auxquelles elle s'adressait ; à Goiânia, 100 000 personnes, dont beaucoup ne venaient même pas de la zone touchée, ont demandé à bénéficier d'une surveillance ; à Tchernobyl, des interruptions de grossesse injustifiées ont été pratiquées ; à Goiânia et en Thaïlande, les funérailles des victimes ont suscité des protestations.

En raison des pressions inhérentes à une situation d'urgence, il se peut que les personnes chargées d'informer le public et les médias ne se soucient pas suffisamment de le faire en utilisant un vocabulaire simple. Il est arrivé lors de certaines situations d'urgence que les porte-paroles officiels fassent usage de terminologie technique, ce qui peut créer l'impression qu'il y a rétention d'information et donner matière à spéculation. Dans certains cas, les personnes chargées d'informer la presse ont été choisies en raison de leurs responsabilités techniques ou de gestion plutôt que pour leurs compétences en matière de communication. Il en a résulté une présentation erronée des aspects techniques de la situation d'urgence qui a réduit la crédibilité des autorités aux yeux du public [82].

Lors d'une situation d'urgence causée par une source radioactive non contrôlée, le fait de tenir le public informé du déroulement de l'intervention semble augmenter sa confiance et sa coopération [13, 21, 25] et permet de réduire les pressions en faveur d'une solution rapide lorsqu'une solution plus réfléchie est nécessaire. Il faut pour cela organiser régulièrement des conférences de presse afin de fournir en temps opportun des descriptions exactes des opérations en cours, de rectifier les informations inexactes et de maintenir une relation étroite et solidaire avec les médias. Cela suppose aussi des efforts de plus longue haleine consistant par exemple à participer à des débats, à produire des éléments d'information formulés en termes simples et à fournir des informations et réagir aux rumeurs grâce à une permanence téléphonique 24h/24h.

Lors de l'accident de Goiânia, la nécessité d'informer les médias et le public s'étant manifestée de façon de plus en plus flagrante, des moyens supplémentaires ont été déployés. Toutefois, aucune documentation préparée d'avance n'était disponible et les membres des équipes d'intervention n'avaient pas de formation médiatique. Malgré tout, ils ont informé les journalistes, qui ont pu ensuite décrire la situation en termes simples à la télévision et à la radio. Les journalistes étant connus du public, celui-ci leur a accordé un certain degré de crédibilité. En outre, un dépliant intitulé « Ce que vous devez savoir sur la radioactivité et les rayonnements » a été produit et distribué à 250 000 exemplaires, et une permanence téléphonique 24h/24h a été mise en place.

3.10.2. Conclusions

Les principaux objectifs en matière d'information du public dans une situation d'urgence sont de :

- faire en sorte que les personnes qui ne sont pas exposées à un risque sachent que l'on veille activement à leur sûreté et que, sauf indication contraire, il n'est pas nécessaire qu'elles prennent des mesures protectrices. Cela contraste avec l'objectif du message d'alerte, qui est de s'assurer que toutes les personnes exposées à un risque se conforment en temps opportun aux actions protectrices recommandées par les autorités ;
- veiller à ce que la demande d'information du public ne gêne pas la gestion de l'intervention.

Les enseignements susmentionnés montrent qu'il est important :

- de veiller avec un soin particulier à fournir en temps opportun des informations exactes pour répondre aux préoccupations du public, à la fois de façon ponctuelle et en continu, que ces préoccupations soient fondées ou non ;
- de définir dans le plan d'urgence, pour toutes les installations des catégories de menaces I, II et III et les activités de la catégorie de menaces IV, les modalités à suivre pour informer de façon appropriée le public et les médias ;
- de coordonner les activités d'information des autorités publiques et des exploitants ;
- de dispenser au personnel des centres d'information une formation lui permettant de renseigner le public et les médias de façon claire et simple.

3.11. MISE EN ŒUVRE DE CONTRE-MESURES AGRICOLES, DE CONTRE-MESURES CONTRE L'INGESTION ET D' ACTIONS PROTECTRICES À LONG TERME

Les principales prescriptions relatives à la mise en œuvre de contre-mesures agricoles, de contre-mesures contre l'ingestion et d'actions protectrices à long terme énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

Intervention

- les contre-mesures agricoles et les actions protectrices à long terme nécessaires ;
- la gestion appropriée de la contamination et des déchets radioactifs ;
- l'arrêt de telle ou telle action protectrice ;

Préparation

- l'établissement de niveaux d'intervention et de niveaux d'action optimisés ;
- les dispositions à prendre pour la mise en œuvre de contre-mesures agricoles dans les zones où se déroulent des activités de la catégorie de menaces V ;

- les dispositions à prendre en vue d'un relogement temporaire en cas de rejet majeur de matières radioactives depuis une installation des catégories de menaces I ou II ;
- les dispositions à prendre dans les zones d'urgence en matière de surveillance des véhicules pour maîtriser la propagation de la contamination ;
- les dispositions à prendre pour la gestion des déchets radioactifs ;
- les dispositions à prendre pour évaluer l'exposition du public et publier les résultats.

3.11.1. Observations

Après un rejet radioactif accidentel dans l'atmosphère imputable à une installation des catégories de menaces I ou II, des actions protectrices portant sur la consommation des denrées alimentaires produites sur la trajectoire du panache peuvent se révéler nécessaires. Empêcher la consommation de lait contaminé est généralement la mesure la plus urgente, mais d'autres produits alimentaires doivent également être pris en compte dans un délai relativement court, en particulier les légumes à feuilles. Des actions protectrices portant sur la consommation d'aliments susceptibles d'être contaminés en l'espace de quelques mois, comme la viande, devraient également être mises en place sur une durée un peu plus longue. Comme l'a montré l'accident de Tchernobyl, il peut être nécessaire de prendre de telles contre-mesures jusqu'à des distances considérables du site de l'accident et sur des zones très vastes, ce qui requiert une surveillance de l'environnement très étendue. La publication n° GS-R-2 [1] exige que des dispositions soient prises pour la mise en œuvre de contre-mesures agricoles efficaces et que ces dispositions prévoient des niveaux opérationnels d'intervention (NOI) par défaut ainsi que les moyens de les réviser. Il est clair que ces NOI doivent être établis à l'avance et incorporés dans les dispositions d'urgence pour les installations des catégories de menaces I et II et les activités de la catégorie de menaces V.

Après l'accident de Tchernobyl, de nombreux États ont mis en œuvre des mesures pour contrôler les denrées alimentaires contaminées. Les limites de concentration d'activité utilisées étaient très variables du fait de l'utilisation de critères de dose et d'hypothèses de modélisation différents dont le choix répondait souvent davantage à des pressions politiques qu'à des considérations scientifiques. Cependant, il en a résulté une grande confusion. En conséquence, la Commission du Codex Alimentarius a défini des limites de concentration d'activité pour le commerce international des denrées alimentaires [85, 86].

Les valeurs de concentration d'activité dans la plupart des denrées alimentaires diminuent rapidement. Néanmoins, plusieurs pays qui ont mis en place des programmes de surveillance des denrées alimentaires au cours de cette période continuent de surveiller systématiquement les denrées alimentaires importées sans nécessairement en réexaminer la nécessité.

Les valeurs définies par la Commission du Codex Alimentarius ne s'appliquent qu'au commerce international et n'empêchent pas l'utilisation éventuelle de niveaux plus élevés dans le pays touché. Cependant, il est difficile de savoir si une population comprendrait et

accepterait que des niveaux plus élevés soient appliqués au cas où un événement se produirait dans son pays.

Après l'accident de Tchernobyl, le Ministère de la santé de l'ex-URSS a fixé les limites de dose annuelle suivantes pour le public (pour l'exposition imputable à l'accident) : 100 mSv en 1986, 30 mSv en 1987 et 25 mSv en 1988 et 1989. En ce qui concerne les membres des équipes d'intervention, les limites suivantes ont été fixées : 250 mSv en 1986 (500 mSv jusqu'au 21 mai 1986 pour le personnel militaire), 100 mSv en 1987 et 50 mSv en 1988 et 1989. Le Gouvernement de l'ex-URSS avait initialement adopté comme critère de relogement une dose-vie de 350 mSv à compter de 1990. Cette valeur ayant été fortement critiquée parce qu'elle était jugée trop élevée, elle n'a pas été appliquée. En 1991, une valeur plus faible (dose-vie de l'ordre de 70 mSv) a été adoptée comme critère légal. Cela a accru considérablement le nombre de personnes à reloger. L'adoption d'une valeur aussi faible s'explique en partie par le fait que, comme aucun critère n'avait été préalablement fixé, il a fallu le faire au cours de la période fortement empreinte d'émotion et de méfiance qui a suivi l'accident [88, 87].

Lors de l'accident de Goiânia, il a aussi été très difficile de fixer des NOI en matière de relogement en raison des contraintes temporelles, des pressions politiques et de l'absence de lignes directrices internationales. Par conséquent des hypothèses excessivement prudentes ont été utilisées pour l'élaboration des NOI, ce qui s'est traduit par l'adoption d'actions protectrices non justifiées, la production de quantités inutiles de déchets radioactifs et des dépenses de décontamination et d'élimination superflues. En outre, loin de convaincre le public qu'elles étaient prises dans son intérêt, ces actions lui ont donné le sentiment que le risque était beaucoup plus grand qu'il ne l'était en réalité.

Immédiatement après la fin de la phase d'intervention d'urgence à Tchernobyl, à Goiânia et dans d'autres situations d'urgence, le public, les responsables officiels et les médias ont exercé une pression considérable en faveur de la reprise des activités normales. Dans le cas de l'accident de Tchernobyl, de nombreux efforts inutiles ont été entrepris à cause de cette pression, par exemple la décontamination de zones évacuées qui ne devaient pas être réoccupées dans un avenir prévisible (par exemple Pripiat) [89].

Les efforts entrepris pour décontaminer des villages après l'accident de Tchernobyl ont souvent été inefficaces parce qu'aucun plan approprié n'avait été établi avant l'accident. Les résultats de ces efforts ont donné l'impression générale que cela ne valait pas la peine de décontaminer les zones urbaines. Or, il a été démontré depuis dans la zone de Novozybkov que, grâce à des contre-mesures simples comme l'enlèvement de la terre végétale, des opérations d'excavation spéciales et le nettoyage des toits, il était possible, même 10 à 15 ans après l'accident, de réduire considérablement le débit de dose externe [90].

Lors de l'intervention à Goiânia, des travaux de décontamination supplémentaires ont été effectués après que l'achèvement total de la décontamination eut été officiellement annoncé, ce qui n'a fait qu'accroître les craintes du public et sa méfiance à l'égard des autorités.

3.11.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- de définir à l'avance des NOI pour différentes actions protectrices et de les intégrer dans les plans d'urgence ;
- de mettre en œuvre des actions protectrices et des NOI génériques harmonisés au niveau international ;
- d'indiquer clairement au public quand et pourquoi des valeurs doivent éventuellement être modifiées pendant une situation d'urgence ;
- d'établir à l'avance des méthodes et des critères pour la décontamination de différentes zones (rues, toits, sols superficiels, sous-sol, etc.) afin de réduire les débits de dose ;
- d'éviter d'annoncer l'achèvement des opérations de décontamination tant qu'une évaluation finale n'a pas confirmé la réalisation des objectifs de réduction des doses.

3.12. ATTÉNUATION DES CONSÉQUENCES NON RADIOLOGIQUES DE LA SITUATION D'URGENCE ET DE L'INTERVENTION

Les principales prescriptions relatives à l'atténuation des conséquences non radiologiques²⁰ de la situation d'urgence et de l'intervention énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

Intervention

- la prise en considération des conséquences non radiologiques des actions d'intervention pour s'assurer qu'elles font plus de bien que de mal ;

Préparation

- les dispositions que doivent prendre les autorités des zones d'urgence pour justifier, optimiser et autoriser différents niveaux d'intervention ou d'action pour la mise en œuvre de contre-mesures agricoles ou d'actions protectrices à plus long terme ;
- les dispositions à prendre pour répondre aux préoccupations du public.

3.12.1. Observations

Tous les accidents nucléaires (par exemple Tchernobyl) ou radiologiques (par exemple Goiânia) graves ont eu des effets néfastes importants sur le plan psychologique. La peur des rayonnements ainsi que le caractère contradictoire et confus des informations concernant l'événement ou le manque d'explications adéquates ont amené le public à se méfier des autorités et des experts officiels et lui ont donné le sentiment de ne plus être

²⁰ Conséquences psychologiques, économiques et autres.

maître de son destin. Par conséquent, certaines personnes ont pris des mesures inopportunes et parfois dangereuses en raison de leur conception erronée des risques et de la façon de les réduire²¹. Ceux qui se trouvaient à proximité des lieux de l'accident ont parfois été stigmatisés et frappés de ségrégation sociale.

Dans l'ex-Union soviétique, un système d'indemnisation a été mis en place pour réduire le stress du public et favoriser le retour à la normale. Le montant de l'indemnisation dépendait principalement de l'endroit où les bénéficiaires vivaient au moment de l'accident ou après et non du risque d'effets sur la santé ou des préjudices tangibles à réparer (dépenses de relogement ou perte de biens ou d'emploi, par exemple). Ce système a donné une fausse idée des risques sanitaires, car en acceptant une compensation financière, on reconnaissait implicitement que de futurs effets néfastes sur la santé étaient possibles.

Ce système d'indemnisation a également représenté un lourd fardeau pour les pays touchés. Le nombre de personnes demandant à en bénéficier a augmenté au fil du temps et les indemnités versées sont venues en déduction des dépenses publiques dans d'autres secteurs [91]. Les politiques d'indemnisation mises en œuvre après l'accident de Goiânia ont aussi créé des problèmes : lorsqu'ils ont su qu'ils allaient être indemnisés pour leurs biens contaminés, les intéressés ont exigé des critères plus restrictifs pour définir la contamination.

3.12.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- d'envisager l'impact psychologique que les actions menées pendant et après une situation d'urgence grave pourraient avoir sur le public et d'en tenir compte ;
- d'asseoir tout système d'indemnisation sur des critères préétablis qui sont clairement liés à des risques sanitaires et à des préjudices économiques tangibles.

²¹ Obstruction aux funérailles des victimes, refus d'avoir des contacts avec des victimes ou des personnes de la zone touchée, refus d'acheter des produits de la région, refus de vendre des billets d'avion aux personnes de la région, interruptions de grossesses par crainte d'effets génétiques, refus de fournir des soins médicaux à des victimes, évacuations spontanées et prise de médicaments inappropriés.

3.13. EXÉCUTION DES OPÉRATIONS DE RÉTABLISSEMENT

Les principales prescriptions relatives à l'exécution des opérations de rétablissement énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

Intervention

- la planification de la transition entre la phase d'urgence et les opérations de rétablissement à long terme et la reprise de l'activité socio-économique normale ;
- l'application intégrale du système de radioprotection professionnelle une fois la phase d'urgence terminée ;

Préparation

- les dispositions à prendre pour la transition de la phase d'urgence aux opérations normales de rétablissement à long terme ;
- la mise en place d'un processus formel pour lever les restrictions et autres mesures.

3.13.1. Observations

Dès que les médias et le public estiment que la phase d'intervention d'urgence est terminée, la pression collective en faveur d'un retour à des conditions de vie normales est intense. À ce stade, il est probable que les autorités prendront des mesures ostensibles, même si celles-ci sont peu efficaces, voire contre-productives²².

Lors de l'accident de Goiânia, la stratégie de remise en état des zones contaminées a principalement consisté à délimiter, évacuer, isoler et décontaminer ces zones et à autoriser rapidement leur réutilisation sans restriction. Les zones dont la contamination n'a pas pu être ramenée à des niveaux permettant une utilisation sans restriction ont été réaffectées à d'autres utilisations contrôlées par les autorités, par exemple en les transformant en places publiques revêtues en dur. Ces actions se sont révélées efficaces pour réduire le désarroi et le stress au sein de la population.

Les accidents donnant lieu à une contamination importante produisent inévitablement de grandes quantités de déchets radioactifs [13, 92]. À Goiânia [13] et à Juarez [93], le choix des lieux d'entreposage et de stockage définitif des déchets a été long et politiquement sensible, ce qui a ralenti l'ensemble du processus de rétablissement. Chaque situation accidentelle sera différente, mais il sera essentiel que la question de savoir que faire des déchets trouve rapidement une réponse. Il faudrait donc que les plans d'intervention génériques comprennent un mécanisme permettant d'apporter cette réponse.

Dans le cas de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres, la phase d'intervention a duré six semaines et a chevauché la phase de rétablissement, qui a duré plusieurs mois. Dans le guide générique intitulé « Emergency Response and Recovery » [94], le Gouvernement du Royaume-Uni recommande que les divers organismes concernés lancent les opérations de rétablissement dès que possible après le début d'une

²² Après l'accident de Tchernobyl, les travaux de décontamination réalisés à Pripiat et dans d'autres zones où les habitants ne devaient pas revenir ont fait subir une exposition inutile aux travailleurs.

situation d'urgence, l'idéal étant que celles-ci soient menées parallèlement à l'intervention proprement dite. Il faut veiller à ce que les priorités de rétablissement à long terme soient prises en compte dans la planification et l'exécution de l'intervention et à ce que les organismes publics, privés et bénévoles compétents soient associés dès que possible à l'effort de rétablissement, et assurer la continuité de la gestion de la situation d'urgence une fois la phase d'intervention terminée.

La démarche susmentionnée a été suivie lors de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres, le groupe de coordination stratégique (SCG) présidé par la police ayant décidé rapidement de créer un groupe de travail pour le retour à la normale (RWG) qui, sous la présidence du Westminster City Council (WCC), a agi pour le compte des diverses collectivités locales londoniennes touchées par la contamination. Au début de la phase d'intervention, le groupe de travail a élaboré une stratégie-cadre et des processus pour la remise en état des endroits contaminés et la levée des restrictions les concernant [95]. La stratégie-cadre était censée s'appliquer depuis le moment où la police ou tout autre organisme compétent commençait à s'intéresser à un endroit potentiellement contaminé jusqu'à ce que cet endroit ait été déclaré sûr pour le public. Il s'agissait de s'assurer que chaque endroit potentiellement contaminé par des matières radioactives soit déclaré sans danger ou remis dans un état tel qu'il ne présente plus de danger pour le public, compte tenu de l'utilisation à laquelle il était destiné et des résultats d'évaluations de risques spécifiques. La stratégie-cadre avait pour objectifs de clarifier les lignes de communication et les responsabilités, de donner des indications sur l'ampleur de la surveillance nécessaire pour caractériser la contamination et des mesures d'assainissement requises, y compris en matière de gestion des déchets, de hiérarchiser les lieux signalés au WCC comme étant potentiellement contaminés, de conseiller les propriétaires/occupants de ces lieux et de pourvoir à une approche cohérente de la remise en état des lieux en question afin qu'ils puissent être utilisés sans danger par le public.

Dans le cadre de ses préparatifs pour faire face à d'éventuels incidents nucléaires, radiologiques, biologiques ou chimiques (NRBC) ou dus à des matières dangereuses, le Gouvernement britannique avait déjà mis en place un service de décontamination investi d'un rôle de coordination et d'appui consistant notamment à donner des conseils et des orientations aux responsables de la décontamination ainsi qu'à évaluer la capacité des entreprises spécialisées du secteur privé de mener à bien les opérations de décontamination et à assurer l'accès rapide aux services de ces entreprises. Ainsi, les ressources nécessaires pour les opérations de remise en état ont été rapidement disponibles. Cependant, comme la plupart des lieux contaminés étaient des locaux d'entreprises, par exemple des bureaux, des hôtels et des restaurants, les coûts étaient légalement à la charge des propriétaires, qui ont dû en demander le remboursement à leur assurance. Cela a provoqué des retards et soulevé des problèmes devant être résolus par le Gouvernement.

Dix endroits ont dû faire l'objet de travaux de remise en état et il n'a pas été possible d'y accéder normalement tant que ces travaux n'étaient pas terminés, ce qui a beaucoup gêné l'activité professionnelle de certains occupants. Dans quelques cas, à la suite d'évaluations de risques, un retour contrôlé sur les lieux a été autorisé pour récupérer des articles afin de remédier en partie à ce problème.

3.13.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- d'anticiper la pression intense des médias et du public en faveur d'un retour à des conditions de vie normales, laquelle peut inciter à prendre des mesures dépourvues d'effet significatif sur la sécurité publique ;
- que les autorités veillent à conserver un haut niveau de crédibilité afin de faciliter le processus de rétablissement.

4. PRESCRIPTIONS CONCERNANT L'INFRASTRUCTURE

4.1. INFORMATIONS GÉNÉRALES

Il est maintenant largement admis que pour atteindre et maintenir un niveau élevé de sûreté, il faut qu'existe une solide infrastructure législative et gouvernementale, dont un organisme national de réglementation ayant des responsabilités et des fonctions bien définies. Les effets de nombreuses situations d'urgence auraient pu être mieux atténués s'il y avait eu une infrastructure adéquate pour faire face à de telles situations. Les fonctions d'urgence ne peuvent pas être correctement assumées en l'absence d'une infrastructure adéquate de préparation et d'intervention.

4.2. POUVOIRS

Les principales prescriptions relatives aux pouvoirs énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- l'établissement par une loi, un code juridique ou un règlement des pouvoirs nécessaires pour élaborer les dispositions en matière de préparation et d'intervention ;
- la définition par écrit des rôles, fonctions, pouvoirs et responsabilités de tous les intervenants ;
- l'attribution des responsabilités, les pouvoirs et les dispositions en matière de coordination ;
- l'indication dans les plans d'urgence des dispositions prévues pour la délégation et/ou le transfert des pouvoirs.

4.2.1. Observations

Il est explicitement indiqué dans la publication n° GS-R-2 [1] que la responsabilité première en matière de sûreté doit incomber à l'exploitant. En cas d'urgence, c'est donc lui qui doit donner le premier l'alerte et fournir les premières informations concernant les dangers. Il est cependant arrivé dans certains cas que l'exploitant attende d'avoir consulté la direction ou essayé de résoudre le problème pour aviser les autorités en dehors du site parce qu'il n'était pas expressément tenu de les aviser rapidement. Un certain nombre de pays ont institué une obligation légale de notification rapide et l'organisme de

réglementation mène des enquêtes après les situations d'urgence pour vérifier que cette obligation a été respectée.

Cette prescription de la publication n° GS-R-2 [1] vise principalement les organismes ou les personnes qui ont ou qui demandent l'autorisation d'exercer une pratique (et qui sont donc légalement responsables des matières radioactives). Toutefois, les activités de la catégorie de menaces IV posent un problème particulier. Il se peut, par exemple, que les entreprises de recyclage de métaux ne soient pas officiellement tenues d'assumer la responsabilité de détecter la présence d'une source orpheline dans des métaux de récupération et d'intervenir en pareil cas. En outre, si elles signalent une telle source, il se peut qu'elles doivent assumer la responsabilité de sa gestion ultérieure en tant que déchet. Des dirigeants peu scrupuleux peuvent donc être tentés d'en dissimuler la présence et de ne pas la signaler aux autorités nationales.

Les responsabilités en matière d'intervention lorsqu'une situation d'urgence radiologique a été signalée sont susceptibles d'être réparties entre de nombreux organismes locaux et nationaux qui peuvent être différents selon la nature de l'urgence (accidentelle ou intentionnelle/criminelle, par exemple), la matière ou la pratique en cause, le statut de l'établissement responsable de la pratique (public civil, militaire ou privé) ou la nature de l'intervention (protection des denrées alimentaires ou de la santé publique, reprise du contrôle de la pratique, par exemple). Souvent, l'impossibilité d'établir rapidement ces distinctions à un stade précoce de la situation d'urgence s'est traduite par une réaction tardive et confuse des pouvoirs publics qui a nourri la méfiance de la population et des médias à l'égard des autorités. C'est un tel contexte de responsabilités concurrentes qui a conduit, lors de l'accident de TMI, plusieurs organismes à essayer de s'acquitter inefficacement du même rôle. Faute d'avoir informé correctement d'autres organismes d'intervention, certaines fonctions d'intervention d'urgence essentielles n'ont pas été assumées [47, 48]. Après l'accident de TMI, ces difficultés ont été surmontées par la mise en place d'un processus global [96] dans le cadre duquel tous les organismes investis d'un rôle (technique, humanitaire ou de police, par exemple) en cas d'urgence agissent sur la base de délégations de responsabilités locales ou nationales clairement définies.

Les autorités locales sont les mieux placées pour prendre immédiatement des mesures afin de protéger le public, mais il leur manque souvent les connaissances, le matériel et les moyens spécialisés nécessaires pour faire face à un accident radiologique. Elles peuvent se trouver encore plus démunies face à une situation d'urgence due à une activité de la catégorie de menaces IV si elles ignorent qu'une telle situation peut se produire et ne s'y sont donc pas préparées.

Pendant les accidents de Tchernobyl et de TMI, les autorités nationales ont bien décidé des actions protectrices à prendre mais n'ont pas assuré une coordination efficace avec les autorités locales. Par conséquent, la mise en œuvre de ces actions protectrices a été retardée pendant des jours, ce qui, dans le cas de Tchernobyl, s'est traduit par le fait que des enfants ont développé des cancers de la thyroïde radio-induits qui auraient pu être évités [87].

Lors de l'accident de TMI, les décisions concernant l'intervention au niveau national ont été inutilement retardées en raison d'une disposition légale qui exigeait qu'elles soient approuvées à la majorité des voix par les cinq membres de la Nuclear Regulatory

Commission (NRC). Une modification législative prévoyant la nomination d'un décideur unique en cas d'urgence a permis de résoudre ce problème.

Au Royaume-Uni, le principal texte législatif régissant ce domaine est le Civil Contingencies Act 2004 [97] qui, avec les guides et les documents de base actualisés qui en facilitent la mise en œuvre, définit un cadre unique de protection civile pour le Royaume-Uni qui permet de faire face à l'ensemble des problèmes dans une situation d'urgence. Ces textes établissent clairement un ensemble de rôles et de responsabilités pour la préparation et l'intervention au niveau local qui est ensuite intégré dans un cadre national. Le Civil Contingencies Act définit deux catégories d'intervenants locaux ayant des attributions différentes.

Les intervenants de la catégorie 1 sont les organismes qui sont au cœur du dispositif d'intervention dans la plupart des situations d'urgence (les services d'urgence, les autorités locales et la HPA, par exemple). L'ensemble des tâches de protection civile relèvent de leurs attributions.

Les intervenants de la catégorie 2 (par exemple les organismes de réglementation, les entreprises de transport et les services publics) ont des obligations moins étendues : ils doivent coopérer et échanger des informations pertinentes avec les autres intervenants des deux catégories. Les organismes des catégories 1 et 2 se réunissent au sein de forums locaux de résilience (LRF), qui facilitent la coordination et la coopération entre les intervenants au niveau local. Les LRF correspondent aux zones de compétence de la police, celle-ci exerçant au Royaume-Uni le rôle de chef de file en matière de sécurité publique.

Les recherches sur les risques naturels et technologiques montrent que la planification d'urgence n'est une priorité ni pour les organismes du secteur public ni pour ceux du secteur privé [56, 59, 60], ce qui explique les difficultés auxquelles se heurtent les responsables de cette planification aux niveaux national et régional pour obtenir des autorités qu'elles prennent des engagements en la matière. De même, les responsables de la planification d'urgence au niveau local éprouvent des difficultés à persuader d'autres organismes locaux comme la police, les pompiers et les services médicaux d'urgence de prendre sur le temps de travail de leur personnel pour que celui-ci contribue à l'élaboration de plans et de procédures d'urgence et participe à des activités de formation, des entraînements et des exercices.

Le fait qu'il est déjà arrivé après des situations d'urgence que les responsables de l'intervention fassent l'objet d'enquêtes ou de poursuites pénales constitue évidemment pour ces responsables un facteur de stress considérable qui risque de retarder l'intervention, même s'ils agissent dans les limites de leurs attributions et conformément à la pratique internationale acceptée.

4.2.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- que les responsabilités et les pouvoirs de chacune des parties, des autorités locales et nationales et de l'exploitant dans l'intervention d'urgence soient clairement définis par la législation afin que des décisions puissent être prises rapidement.

4.3. ORGANISATION

Les principales prescriptions relatives à l'organisation énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- la définition des relations et des interfaces entre tous les principaux organismes d'intervention ;
- la désignation dans les plans d'urgence des membres du personnel de chaque organisme responsables de l'exécution des fonctions d'intervention ;
- l'affectation de personnel aux postes appropriés afin d'exécuter les fonctions nécessaires ;
- la disponibilité constante d'effectifs suffisants de personnel qualifié.

4.3.1. Observations

Lors d'une situation d'urgence, les tâches et les conditions de travail ne sont pas les mêmes que dans une situation normale et, par conséquent, le personnel nécessaire pour assurer une intervention d'urgence efficace devra posséder des capacités différentes. Cependant, des membres du personnel sont parfois affectés à des fonctions d'intervention d'urgence en raison de leur position dans l'organisme, même s'ils sont conscients du fait qu'ils risquent de ne pas être en mesure d'assumer ces fonctions.

Lors de l'intervention d'urgence à Goiânia, des bénévoles locaux ont été formés et affectés à des tâches nécessitant d'entrer en contact avec la population locale (par exemple pour recueillir des informations ou obtenir des matériaux disponibles localement). Des membres des brigades locales de pompiers ont été, après avoir reçu une formation, intégrés dans les équipes de radioprotection et de décontamination. Grâce à cette mise à contribution de la population locale, le public a moins eu l'impression de subir une intrusion extérieure et a eu davantage confiance dans les efforts d'intervention [92].

En de nombreuses occasions, la fourniture d'une assistance par l'intermédiaire de l'AIEA a été demandée [13-28], notamment pour la surveillance radiologique, la reconstitution des doses, la récupération de sources et le traitement médical spécialisé des lésions radio-induites. Cependant, l'AIEA a constaté que dans certains pays, il était difficile de demander et de recevoir rapidement cette assistance parce que les procédures normales à suivre pour demander l'aide internationale étaient extrêmement longues.

De nombreux problèmes récurrents se posent lors de situations d'urgence rares (incendies de forêt majeurs, tremblements de terre, par exemple) qui nécessitent l'intervention rapide d'un grand nombre d'organisations et d'autorités dont les structures de commandement, la terminologie, les moyens de communication et les équipements sont différents. En conséquence, certains pays (par exemple le Canada, le Mexique et les États-Unis) ont mis en place un système de commandement des interventions en cas d'incident qui établit une terminologie et des principes opérationnels normalisés et un processus d'intervention d'urgence pour tous les niveaux (depuis le niveau local jusqu'au niveau national). Ce système, qui se distingue notamment par une chaîne de commandement claire dirigée par le commandant des interventions en cas d'incident, semble avoir accru l'efficacité des interventions multi-organismes en permettant d'intégrer rapidement dans le dispositif d'urgence global des éléments de n'importe quel organisme d'intervention. Les modalités de sa mise en œuvre pour répondre aux prescriptions internationales [1] sont décrites dans la publication [34].

4.3.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- que les organismes concernés étudient à l'avance les modalités d'organisation des interventions d'urgence, même s'ils considèrent que la probabilité qu'une situation d'urgence se produise est faible, et que ces modalités d'organisation figurent dans les plans d'urgence ;
- d'assigner aux organismes d'intervention des responsabilités qui soient autant que faire se peut compatibles avec leurs fonctions normales ; par conséquent, les aspects non radiologiques de l'intervention devraient continuer d'incomber à ceux qui s'en occupent habituellement ;
- d'intégrer dans les plans d'intervention d'urgence un cadre standard à l'usage des organismes locaux et des bénévoles, tout en veillant à ce que les personnes concernées soient conscientes des dangers, qu'elles sachent comment intervenir en toute sécurité, qu'elles fassent l'objet d'une surveillance attentive et que leurs activités soient coordonnées de manière appropriée ;
- d'établir des procédures simplifiées et rapides pour demander une assistance internationale.

4.4. COORDINATION DE L'INTERVENTION

Les principales prescriptions relatives à la coordination de l'intervention énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- l'élaboration des dispositions nécessaires en la matière ;
- la coordination des évaluations des doses et des effets sur la santé entre différents organismes ou États ;

- les dispositions à prendre pour que tous les États se trouvant dans les zones d'urgence définies reçoivent les informations voulues pour se préparer à intervenir en cas d'urgence et pour assurer la coordination transfrontière.

4.4.1. Observations

Il est arrivé lors de certaines situations d'urgence qu'une équipe descendante ne mette pas l'équipe montante suffisamment au courant de la situation, nuisant ainsi à l'intervention [9]. Pendant l'événement de Goiânia, l'organisation de séances d'information pour le personnel montant et l'échelonnement des heures de départ et d'arrivée ont permis d'assurer une bonne transmission de l'information d'une équipe à l'autre .

Lors de situations d'urgence radiologique dans certains pays, différents organismes nationaux d'intervention ignoraient les responsabilités des autres organismes d'intervention et n'en n'ont pas tenu compte, ce qui a été un facteur de retard et de confusion. Parfois aussi, des organismes ou des ministères ont cru à tort qu'ils avaient un rôle à jouer simplement parce que le public ou de hauts fonctionnaires le pensaient, et cela a aussi eu un effet négatif sur l'intervention [63, 66].

Certains pays ont créé des comités locaux de coordination comprenant tous les organismes ayant à intervenir dans une situation d'urgence impliquant des matières dangereuses [56]. L'expérience a montré que ces comités renforçaient non seulement la coordination, mais aussi la confiance et la compréhension mutuelles, à condition de se réunir régulièrement. Ils s'avèrent plus efficaces s'ils disposent d'un coordinateur à plein temps chargé des aspects administratifs/logistiques et ont accès à des matériels de formation et des informations sur la menace et les ressources disponibles sur place et dans les régions voisines.

Les réactions collectives aux catastrophes sont plus efficaces quand les organismes d'intervention ont collaboré à l'élaboration de plans et de procédures et tenu conjointement des activités de formation, des exercices et des examens critiques [56, 59, 98].

La coordination des activités visant à informer et conseiller le public a déjà été traitée plus haut, mais il s'agit d'une question importante sur laquelle il faut insister. Lors de l'accident de TMI, il a été presque aussitôt demandé à l'organisme de réglementation de présenter son analyse de la situation. Or, celui-ci ne s'était pas vu assigner un rôle précis dans le plan d'urgence et n'était donc pas en mesure de répondre en temps opportun ou en connaissance de cause aux demandes qui pouvaient lui être adressées. La décision de mettre en place à proximité du site de l'accident un centre opérationnel d'urgence unique chargé de coordonner l'intervention au niveau national et de renseigner les médias a considérablement accru l'efficacité de l'intervention. Après l'accident de TMI, l'organisme de réglementation a fait le nécessaire pour clarifier son rôle en cas d'urgence, rationaliser son processus décisionnel et pourvoir au déploiement d'équipes techniques et autres ayant été spécialement formées et préparées pour évaluer des situations d'urgence et réaliser d'autres interventions [99].

Lors de l'accident de TMI, il a également été demandé à tous les comtés se trouvant dans un rayon de 20 miles (environ 32 km) de la centrale d'élaborer des plans d'évacuation [100]. Dans leur plan d'évacuation respectif qu'ils avaient établi indépendamment l'un de l'autre, deux comtés situés à l'ouest de la centrale ont décidé d'inverser le sens de la circulation sur une autoroute. Malheureusement, le comté le plus au nord a décidé de diriger tous les véhicules vers le sud et le comté le plus au sud a décidé l'inverse. Ce conflit entre les deux plans a été découvert ultérieurement par les planificateurs de l'organisme responsable de la gestion de la situation d'urgence au niveau de l'État. Un important embouteillage a pu être évité uniquement parce que l'évacuation des femmes enceintes et des enfants d'âge préscolaire n'a été ordonnée que dans un rayon de cinq miles (8 km) et non 20 miles comme cela avait été prévu initialement.

L'existence de plans d'intervention différents et non coordonnés en matière de sûreté et de sécurité a constitué un problème particulier. Par exemple, la réaction à une intrusion dans une centrale nucléaire [101] s'est essentiellement traduite par le verrouillage de toutes les portes de la centrale, ce qui a gêné l'activation des centres d'urgence, les communications hors site et l'envoi des notifications. Dans le cas d'un acte terroriste impliquant une source radioactive, les objectifs en matière de sécurité – par exemple recueillir des preuves – peuvent entrer en conflit avec les objectifs en matière de sûreté, à savoir réduire au minimum l'exposition des personnes.

4.4.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- de bien coordonner l'intervention d'urgence grâce à une planification préalable judicieuse et notamment à la mise en place d'une structure de gestion appropriée, comme indiqué ci-dessus ;
- de faire appel à des comités de planification d'urgence locaux et d'entreprendre conjointement des activités de formation et d'entraînement et des exercices, ce qui facilitera le processus ;
- d'établir des modalités claires en matière de transfert des responsabilités, car de nombreuses situations d'urgence peuvent durer des jours, voire des semaines ;
- de bien coordonner les plans des organismes d'intervention d'urgence avec ceux des services de sécurité.

4.5. PLANS ET PROCÉDURES

Les principales prescriptions relatives aux plans et procédures énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- les dispositions à prendre pour coordonner l'intervention nationale, notamment la désignation de l'organisme chargé de les élaborer, les responsabilités des exploitants et des autres organismes d'intervention et la coordination avec le dispositif d'intervention pour une situation d'urgence classique ;

- les plans que doivent établir les différents organismes d'intervention pour exécuter de façon coordonnée les tâches qui leur ont été assignées ;
- la nécessité de fonder les plans d'intervention sur une évaluation des menaces ;
- la coordination des plans d'intervention avec tout autre plan qui pourrait être appliqué dans une situation d'urgence ;
- l'obligation des autorités compétentes de veiller à ce que des plans d'urgence soient élaborés, que les organismes d'intervention participent à l'élaboration de ces plans, que ceux-ci tiennent compte des résultats d'une éventuelle évaluation de la menace et des enseignements tirés de l'expérience d'exploitation et de situations d'urgence qui se sont produites avec des sources de type analogue, et qu'ils soient réexaminés et mis à jour périodiquement ;
- le contenu des plans d'urgence (répartition des responsabilités, détermination des conditions d'exploitation qui pourraient nécessiter une intervention, niveaux d'intervention, procédures, y compris en matière de communication, méthodes et appareils à utiliser pour évaluer la situation d'urgence et ses conséquences, dispositions prévues pour informer le public et critères de levée de chaque action protectrice) ;
- l'établissement, par l'exploitant d'une installation ou d'une pratique des catégories de menaces I, II, III ou IV, d'un plan d'urgence coordonné avec ceux d'autres organismes ;
- le contenu du plan d'urgence d'une installation ou d'une pratique des catégories de menaces I, II, III ou IV ;
- les procédures, outils d'analyse et programmes informatiques que doivent élaborer les exploitants et les organismes d'intervention pour pouvoir exécuter les fonctions nécessaires ;
- la mise à l'essai de ces procédures, outils d'analyse et programmes informatiques ;
- la mise en œuvre des plans d'urgence sur le site par l'exploitant ;
- la mise en œuvre des plans d'urgence hors du site et des éventuels plans transfrontières par les organismes d'intervention.

4.5.1. Observations

L'importance de plans et procédures d'urgence clairs a déjà été évoquée dans la présente publication. Le fait que de tels plans et procédures n'avaient pas été établis à l'avance a entravé l'intervention dans de nombreuses situations d'urgence [14, 30, 77].

Des problèmes se posent aussi lorsque les plans d'urgence sont élaborés sans la participation de tous les organismes qui les mettront effectivement en œuvre. Une telle participation permet de relever des hypothèses erronées concernant les capacités d'intervention, de mieux connaître les capacités des autres organismes d'intervention, de donner à ceux-ci une meilleure idée de ce que l'on attend d'eux et de déterminer les

ressources nécessaires. Elle contribue aussi à faire en sorte que ces organismes s'investissent davantage dans le plan et redoublent donc d'efforts pour qu'il soit efficacement mis en œuvre.

Des procédures bien définies facilitent l'exécution des tâches difficiles qu'impose une situation d'urgence. Or, de nombreuses procédures se sont révélées inefficaces dans des conditions d'urgence pour les raisons suivantes : elles avaient été mal conçues ; elles nécessitaient plus de temps ou d'informations qu'on en disposait ; leurs utilisateurs n'avaient pas les compétences ou la formation nécessaires ; ou elles n'étaient pas compatibles avec d'autres éléments du dispositif d'intervention. L'efficacité des procédures peut être testée dans des conditions d'urgence réalistes lors d'exercices et d'entraînements.

Lors des interventions à Tchernobyl et à Goiânia, il a été constaté que les décisions concernant la mise en œuvre d'actions protectrices touchant le public pouvaient être prises par des responsables officiels qui n'étaient pas des spécialistes des rayonnements et qui se prononçaient donc en fonction de leur propre appréciation à la fois du risque radiologique et des préoccupations sociétales et politiques.

L'absence de dispositions pour faire face à des événements de faible probabilité/aux conséquences importantes a été manifeste lors de l'accident de Tchernobyl. Par exemple, le fait de ne pas avoir soumis rapidement à des restrictions la consommation de lait et de légumes produits localement alors que le cœur du réacteur avait été gravement endommagé s'est soldé par des cancers radio-induits de la thyroïde. En outre, de nombreux pompiers et d'autres membres des équipes qui sont intervenues sur le site sont décédés des suites d'une forte exposition. Ils ne pouvaient pas mesurer les débits de dose (qui pouvaient être mortels en l'espace de quelques minutes) et n'étaient ni formés ni équipés pour intervenir dans les conditions extrêmes créées par l'accident.

L'accident de Goiânia [13] ainsi que celui de Juarez (Mexique), dont l'ampleur était comparable et qui a également été dû à une source de radiothérapie [29, 93], sont des exemples d'événements radiologiques de faible probabilité ayant des conséquences importantes dans l'espace public. De tels événements peuvent se produire dans des endroits inattendus et avoir des conséquences imprévisibles. De même, il est impossible de prédire le lieu où un dispositif de dispersion radiologique pourrait être utilisé par des terroristes ni les conséquences qui en résulteraient.

Depuis des années, le Royaume-Uni dispose d'un cadre intégré d'intervention pour toutes les situations d'urgence [94] pour l'élaboration duquel il a été tenu compte aussi bien des enseignements de l'accident de Three Mile Island que de l'expérience acquise lors d'inondations, d'incendies de produits chimiques, etc. La menace d'éventuelles attaques terroristes avec des agents NRBC a renforcé la nécessité d'une approche intégrée de tous risques. Quand une situation d'urgence, quelle qu'en soit la nature, touche l'espace public, la police prend la direction des opérations et, si cette situation est grave, elle met en place, sous sa présidence, un groupe de coordination stratégique (SCG) comprenant des représentants de haut niveau des services d'urgence, du NHS, des autorités locales, des services publics et des organismes scientifiques et de réglementation. Ces organismes donnent des conseils et ont des responsabilités précises, mais c'est la police qui dirige l'intervention. S'il s'agit d'une situation d'urgence d'ampleur nationale, par exemple des

inondations touchant une vaste zone ou des attentats terroristes simultanés en plusieurs endroits, la police continue de diriger les opérations au niveau local, la responsabilité des questions de coordination et de politique au niveau national étant assumée par le Gouvernement par l'intermédiaire d'un comité des urgences civiles, le Civil Contingencies Committee (CCC), qui est installé dans un centre de gestion de crise spécialisé, le Cabinet Office Briefing Room (COBR). Pour chaque type de situation d'urgence, un ministère est désigné comme chef de file et celui-ci assure la présidence du CCC, sauf si le Premier Ministre décide de le faire lui-même.

Ce cadre a déjà été utilisé pour faire face à diverses situations d'urgence et il est aussi régulièrement testé sur des sites nucléaires et pour se préparer à d'éventuels attentats terroristes. Donc, le 7 juillet 2005, lorsque des terroristes ont fait exploser quatre bombes dans les transports publics de Londres, les différents organismes d'intervention savaient exactement quels étaient leurs rôles et responsabilités respectifs, et la structure de commandement et de contrôle constituée par la police était claire [102]. Ce dispositif a également été utilisé lors de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres en 2006 et a bien fonctionné. Les deux incidents ont mobilisé de nombreux organismes d'intervention et chacun de ces organismes avait des représentants ou était représenté par son ministère de tutelle au sein du SCG et du CCC. Diverses situations d'urgence antérieures avaient également mis en évidence la nécessité d'établir des liaisons transversales névralgiques en intégrant des conseillers d'un organisme dans la structure d'intervention d'un autre organisme avec lequel il fallait coopérer étroitement. Bien sûr, cela grève les ressources en personnel d'encadrement, mais il faut en tenir compte dans les plans en matière d'organisation et les programmes de formation pertinents.

Des situations d'urgence radiologique graves ayant donné lieu à des surexpositions ont été causées par le fait que des opérateurs de sources portables dangereuses (par exemple de radiographie) ont essayé d'atténuer des conditions anormales ou d'y remédier. Ces surexpositions se sont produites en raison de l'inadéquation des procédures, de la formation et des outils, et d'une méconnaissance des principes fondamentaux de sûreté radiologique et des principes de fonctionnement des appareils utilisés [30].

4.5.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- d'établir à l'avance, par écrit, des plans d'intervention d'urgence qui doivent être communiqués à toutes les parties concernées, couvrir la gamme complète des situations d'urgences possibles, y compris les événements de faible probabilité/aux conséquences importantes, faire partie intégrante d'un programme de gestion couvrant toutes les situations d'urgence et être complétés par des procédures écrites ;
- d'accorder une attention particulière à l'intégration aux plans d'intervention d'urgence de dispositions pour faire face aux menaces criminelles, terroristes ou autres, impliquant des matières radioactives ;
- d'élaborer des plans et des procédures génériques pouvant servir de structure de commandement et de contrôle et d'être en mesure de fournir des compétences et

des ressources dans des situations d'urgence concernant des installations et des pratiques des catégories de menaces I, II, III ou IV.

4.6. APPUI ET MOYENS LOGISTIQUES

Les principales prescriptions relatives à l'appui et aux moyens logistiques énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- la mise à disposition d'outils, d'instruments, de fournitures, d'équipements, de systèmes de communication, d'installations et de documents appropriés ;
- la désignation, pour les installations des catégories de menaces I ou II, de mécanismes chargés de coordonner les actions d'intervention sur le site, en dehors du site et au niveau national, les activités d'information du public et le contrôle et l'évaluation radiologiques hors site ;
- la mise en place d'un centre de gestion de crise dans les installations de la catégorie de menaces I ;
- la désignation de laboratoires chargés d'effectuer des analyses d'échantillons environnementaux et biologiques et des mesures de la contamination interne ;
- la désignation d'une ou plusieurs cellules nationales de crise chargées de coordonner les actions d'intervention et l'information du public ;
- les dispositions à prendre pour obtenir l'appui des organismes compétents.

4.6.1. Observations

Les ressources nécessaires pour faire face à l'accident de Goiânia se trouvaient à Rio de Janeiro ou à Sao Paulo, soit à plus de 1 300 km, ce qui a posé de graves problèmes logistiques. Le Brésil a alors mobilisé toutes les ressources appropriées dont il disposait et a eu recours à l'aide internationale en vertu de la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique [13, 51]. Des compétences spécialisées étaient nécessaires pour le traitement médical des patients, la mise et le maintien en place de moyens de surveillance, la logistique, les analyses biologiques, la dosimétrie individuelle et l'analyse d'échantillons de l'environnement. Au plus fort de l'intervention, plus de 700 personnes étaient affectées à la décontamination de l'environnement. Il a fallu former ces personnes à l'utilisation des appareils de surveillance et fournir des moyens d'appui sur le terrain tels que des installations de réparation des appareils de surveillance, une blanchisserie spéciale pour les effets contaminés, un anthroporadiamètre transportable et une installation de fabrication de conteneurs à déchets.

Dans certains cas, la salle de commande de l'installation a été utilisée simultanément pour les besoins de l'intervention d'urgence et les fonctions d'exploitation. Par exemple, lors de l'accident de TMI, plus de 40 personnes se trouvaient dans la salle de commande à un moment donné. Le bruit et l'encombrement qui en ont résulté ont entravé les efforts déployés par les opérateurs pour faire face à l'accident [9, 53]. Dans les premiers jours de l'accident, la salle de commande a reçu plus de 4 000 appels téléphoniques, ce qui a

provoqué la saturation des lignes et empêché de recevoir des informations importantes pour la gestion de l'intervention [9]. En outre, l'assistance technique fournie aux opérateurs s'est révélée inadaptée parce que les installations, les outils et la formation n'avaient pas été conçus pour une intervention en cas d'accident grave [53].

Dès que le public a connaissance d'un événement qui lui semble important, on assiste à une surcharge et parfois à l'effondrement des réseaux téléphoniques publics à proximité du lieu où cet événement s'est produit. Lors de l'accident de TMI, cela a empêché l'organisme de réglementation de rester en communication avec le site et entravé de nombreux autres aspects de l'intervention officielle.

L'expérience montre que l'utilisation régulière des installations, des équipements et des autres ressources prévues pour les interventions d'urgence permet de faire des économies, de familiariser le personnel d'intervention avec le matériel qu'il devra utiliser et d'assurer l'entretien correct de ce matériel. Toutefois, ces avantages ne seront pas réalisés en l'absence de contrôles visant à garantir la disponibilité de ces ressources pendant une situation d'urgence.

De nombreuses situations d'urgence ont été marquées par des problèmes dus à l'incompatibilité des équipements de communication et/ou des radiofréquences utilisés par les différents organismes d'intervention.

Lors d'une intervention d'urgence [13], le matériel de surveillance de l'environnement et d'autres équipements sont tombés en panne ou se sont révélés inutilisables dans les conditions ambiantes et de travail sur le terrain (températures élevées, forte lumière du soleil, pluie, fluctuations rapides de température, forte humidité ou manipulations brusques, par exemple). Cela était dû au fait que le matériel avait été choisi pour ses qualités d'utilisation en laboratoire et non parce qu'il convenait pour le travail de terrain.

Des problèmes ont surgi au cours d'interventions d'urgence parce que le matériel était trop complexe pour pouvoir être utilisé dans des conditions d'urgence réelles par un personnel ayant une formation et une expérience limitées. Dans des situations d'urgence faisant intervenir de nombreux organismes, des problèmes apparaissent également lorsque chaque organisme surveille l'environnement avec son propre matériel, sans harmonisation de l'étalonnage ou des procédures.

Normalement, les organismes locaux comme la police, les pompiers et les services publics utilisent des radios réglées sur des fréquences différentes afin d'éviter de surcharger le réseau de radiocommunication et de se gêner mutuellement. Toutefois, cela peut poser un problème dans une situation d'urgence, car ces organismes peuvent avoir besoin de communiquer entre eux. Ce problème a eu des conséquences dramatiques lors des attentats contre le World Trade Center à New York le 11 septembre 2001 : des sources proches de la police avaient rapidement déterminé que les tours allaient s'effondrer d'un moment à l'autre, mais cette information n'a malheureusement pas pu être transmise à temps aux pompiers pour qu'ils évacuent le bâtiment. Ce manque d'interopérabilité des communications a alourdi le bilan des victimes parmi les équipes d'intervention des pompiers [103].

4.6.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- de déterminer les ressources dont auraient besoin les organismes d'intervention pour faire face à un large éventail d'événements ;
- de faire en sorte que les équipes d'intervention soient familiarisées avec les installations et le matériel devant être utilisés dans une situation d'urgence ;
- de veiller à ce que le matériel soit facilement accessible en cas d'urgence et adapté aux conditions dans lesquelles il sera utilisé ;
- de veiller à ce que des moyens de communication, y compris des systèmes diversifiés et redondants de communication téléphonique, soient disponibles en permanence et à ce que les fréquences de radiocommunication soient compatibles.

4.7. FORMATION, ENTRAÎNEMENT ET EXERCICES

Les principales prescriptions relatives à la formation, l'entraînement et aux exercices énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- l'obligation qui incombe à l'exploitant et aux organismes d'intervention de recenser les connaissances, les compétences et les capacités nécessaires pour exécuter les fonctions requises et de s'assurer que le personnel dispose des connaissances, des compétences, des capacités, du matériel, des procédures et des autres moyens voulus pour s'acquitter de ses fonctions d'intervention ;
- pour les installations des catégories de menaces I, II ou III, l'obligation d'informer toutes les personnes se trouvant sur le site des dispositions visant à leur notifier une situation d'urgence et des mesures qu'ils doivent prendre lorsqu'ils reçoivent une telle notification ;
- la réalisation d'exercices pour tester les fonctions d'intervention d'urgence et toutes les interfaces organisationnelles dans les installations ou pratiques des catégories de menaces I, II ou III et les programmes nationaux dans celles des catégories IV ou V ;
- la participation du personnel chargé de fonctions d'intervention critiques aux entraînements et exercices ;
- la formation des personnes extérieures au site chargées de décider des actions protectrices à prendre et leur participation aux exercices ;
- l'évaluation par rapport aux objectifs d'intervention fixés des résultats des exercices dans les installations des catégories de menaces I, II ou III.

4.7.1. Observations

La recherche et l'expérience d'exploitation montrent que les groupes concernés interviennent plus efficacement en cas de catastrophe s'ils ont été formés à la mise en œuvre des plans et procédures d'urgence, organisent des séances d'entraînement afin

d'évaluer la performance individuelle, effectuent des exercices annuels pour évaluer l'efficacité des plans, des procédures et de la formation et procèdent à des examens critiques pour déterminer les points à améliorer [56, 98].

Un autre problème courant est dû au fait que, souvent, les principaux responsables du dispositif d'intervention (par exemple des dirigeants nationaux ou locaux) ne participant pas aux formations ou aux exercices et sont donc pris au dépourvu lorsqu'il est fait appel à eux dans les conditions stressantes d'une intervention.

L'absence de formation aux interventions d'urgence ou le caractère inadapté de celle-ci ont souvent été mentionnés dans le bilan des interventions d'urgence. Le plus souvent, une telle formation n'avait pas été dispensée parce qu'elle n'avait pas été jugée prioritaire. Les problèmes suivants ont également été constatés en la matière :

- la formation n'avait pas été conçue pour inculquer au personnel d'intervention les connaissances, les compétences et les comportements nécessaires pour qu'il puisse s'acquitter de ses fonctions dans une situation d'urgence ;
- il n'y avait pas de mise à niveau de la formation (recyclage) ;
- la formation n'avait pas été dispensée dans des conditions simulant une situation d'urgence ;
- l'accent avait été mis sur la formation individuelle plutôt que sur la constitution d'équipes ;
- toutes les personnes et organisations appelées à participer à une intervention réelle n'avaient pas bénéficié d'une formation ;
- aucune évaluation n'avait été faite pour s'assurer que la formation avait été bien reçue.

La recherche et l'expérience montrent que les exercices par équipe sont un moyen efficace de développer et de tester les compétences à ce niveau. Des exercices auxquels participent toutes les équipes sont toutefois nécessaires pour intégrer chacune d'entre elles dans le dispositif d'intervention d'urgence [104].

Des recherches ont également montré qu'il était nécessaire, pour une exécution efficace des tâches, que les personnes concernées acquièrent, grâce à la formation, les connaissances, les compétences et les comportements leur permettant de savoir ce qu'il convient de faire dans une situation donnée. Il est important par ailleurs de se doter des compétences voulues pour apporter des solutions aux problèmes, évaluer les stratégies en fonction de leurs perspectives de réussite et déterminer le temps nécessaire pour mener à bien une tâche [104].

Les activités de mise à niveau de la formation présentent souvent l'inconvénient d'être répétitives et sans intérêt, ce qui n'incite pas à y participer et à les prendre au sérieux. Ce problème est moindre si la mise à niveau est axée sur les tâches qui sont essentielles, difficiles et rarement réalisées et consiste à essayer de nouvelles stratégies et à tirer des leçons de l'expérience [104].

Souvent, les exercices reposent sur des scénarios irréalistes qui visent à faire en sorte que toutes les fonctions d'intervention soient activées et démontrées pendant les heures de travail normales. Par conséquent, ils ne simulent pas nombreux aspects importants des situations d'urgence réelles et risquent donc créer de fausses attentes qui peuvent être préjudiciables lors d'une intervention réelle.

4.7.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- de veiller à ce que toutes les personnes et organisations qui ont un rôle à jouer dans une situation d'urgence soient correctement formées pour s'en acquitter ;
- de concevoir des programmes de formation visant à développer les capacités à résoudre les problèmes et travailler en équipe ;
- de concevoir des activités de mise à niveau de la formation qui soient prises au sérieux par les membres des équipes d'intervention afin de les inciter à y participer ;
- de veiller à organiser des programmes de formation et des exercices coordonnés réunissant toutes les personnes et organisations ayant un rôle à jouer dans une situation d'urgence ;
- de fonder les exercices sur des scénarios réalistes.

4.8. PROGRAMME D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Les principales prescriptions relatives au programme d'assurance de la qualité énoncées dans la publication n° GS-R-2 [1] concernent :

- la mise en place d'un programme d'assurance de la qualité par l'exploitant d'une installation, d'une pratique ou d'une source des catégories de menaces I, II, III ou IV et par les organismes d'intervention hors site ;
- les dispositions que l'exploitant d'une installation, d'une pratique ou d'une source des catégories de menaces I, II, III ou IV et les organismes d'intervention hors site doivent prendre pour examiner et évaluer les interventions réalisées lors de situations d'urgence et d'exercices afin d'apporter les améliorations nécessaires.

4.8.1. Observations

Lors de certaines situations d'urgence, il est arrivé que le matériel, les fournitures et les installations nécessaires à l'intervention ne soient pas disponibles ou se révèlent insuffisants parce qu'ils :

- a) n'avaient pas été achetés à l'avance ;
- b) n'ont pas pu être localisés quand on en a eu besoin ;
- c) avaient été empruntés et n'avaient pas été remis dans la réserve d'urgence ;

- d) n'étaient pas opérationnels quand on en a eu besoin ;
- e) n'avaient pas été correctement entretenus ou étalonnés ;
- f) avaient dépassé leur durée de vie recommandée.

Cela s'explique principalement par le fait que, les situations d'urgences étant rares, le matériel, les installations et les ressources exclusivement affectés aux interventions d'urgence ne sont pas normalement utilisés et ne sont pas soumis à un programme de maintenance approprié. Il a également été constaté que des interventions d'urgence avaient été gênées par le fait que des listes d'appels, des procédures et d'autres documents n'étaient pas à jour.

Il se peut également que les programmes de formation, les effectifs de personnel et les procédures d'urgence n'aient pas été maintenus au niveau spécifié.

Les séances d'entraînement et les exercices sont des moyens efficaces de déterminer si le plan, l'organisation, les effectifs, les procédures, la formation, les installations, le matériel et les ressources sont adéquats. Cependant, dans de nombreux cas, rien n'avait été prévu pour en tirer des enseignements et agir en conséquence.

Les leçons tirées de l'examen d'interventions d'urgence réelles telles que celles présentées dans diverses publications de l'AIEA [11 à 31] peuvent donner des indications utiles pour l'amélioration des dispositifs d'urgence. C'est pourquoi l'AIEA a encouragé les États à demander qu'un tel examen soit effectué après une situation d'urgence grave et que les résultats en soient largement diffusés. Des évaluations et des examens collégiaux externes du dispositif d'urgence effectués au stade de la préparation se sont également révélés efficaces pour déterminer les améliorations possibles.

4.8.2. Conclusions

Ces enseignements montrent qu'il est important :

- d'établir un programme d'assurance de la qualité du dispositif d'intervention d'urgence ;
- d'utiliser le retour d'information des entraînements, des exercices et des situations d'urgence réelles pour améliorer le dispositif d'intervention d'urgence (plans, procédures, matériel, ressources, etc.) ;
- de réaliser des audits et des évaluations internes et externes pour recenser les faiblesses du dispositif d'urgence.

5. CONCLUSIONS

Les enseignements tirés des incidents et des situations d'urgences susmentionnés confortent les prescriptions de sûreté énoncées dans la publication n° GS-R-2 de l'AIEA [1]. La mise en œuvre effective de ces prescriptions contribue à assurer la mise en place d'un dispositif approprié de préparation et d'intervention pour les situations d'urgence radiologique dans un État ainsi qu'à réduire au minimum les conséquences d'une telle situation pour les personnes, les biens et l'environnement [1].

APPENDICE I

DESCRIPTION DE DIX SITUATIONS D'URGENCE LARGEMENT DOCUMENTÉES

1. ACCIDENT DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE THREE MILE ISLAND (TMI)

Comme la plupart des réacteurs, celui de TMI comprenait trois barrières. Un rejet majeur de matières radioactives ne peut entraîner une exposition du public qu'en cas de défaillance de ces trois barrières. La première est constituée par les aiguilles de combustible formant le cœur du réacteur, c'est-à-dire le siège de la réaction nucléaire, et la deuxième par le système de refroidissement qui entoure le cœur afin d'assurer que celui-ci soit toujours recouvert d'eau. Le système de refroidissement comprend des pompes qui compensent automatiquement les pertes d'eau éventuelles. Le cœur et le système de refroidissement sont à l'intérieur d'une structure très grande et très solide, l'enceinte de confinement (troisième barrière), dont le but est d'empêcher toute matière radioactive libérée par le cœur et le système de refroidissement d'être rejetée dans l'atmosphère. Le cœur doit toujours être recouvert d'eau, sinon il entre en surchauffe et le gainage des aiguilles de combustible peut commencer à se rompre, entraînant rapidement la fusion du combustible. En cas de fusion du cœur, de grandes quantités de matières radioactives seraient rejetées dans l'enceinte de confinement. La fusion du cœur peut aussi créer des conditions susceptibles d'entraîner une défaillance imprévisible du confinement. À TMI, des dispositions avaient été prévues au stade de la conception de la centrale pour empêcher la fusion du cœur mais pas le rejet de matières radioactives en cas de fusion.

L'accident a commencé le 28 mars 1979 à environ 4 heures du matin quand une pompe qui alimentait la cuve en eau s'est arrêtée. Cet incident sans gravité aurait dû être facilement géré par le système de sûreté de la centrale. Celui-ci a fonctionné comme prévu, mettant à l'arrêt la centrale (interruption de la réaction nucléaire). Pendant l'arrêt, une vanne ne s'est pas fermée, laissant de l'eau s'échapper du système. Cette perte d'eau a été détectée par le système de sûreté, qui a mis en route des pompes pour remplacer l'eau qui s'échappait et faire en sorte que le cœur reste recouvert. À ce stade, un instrument dans la salle de commande a indiqué incorrectement un excès d'eau dans le système de refroidissement. Les opérateurs, se conformant aux procédures en vigueur et à la formation qu'ils avaient reçue, ont arrêté certaines des pompes du système de sûreté qui compensaient les pertes d'eau. Au bout de quelques heures, le cœur, qui n'était plus recouvert d'eau, a commencé à fondre et, en l'espace de quelques minutes, a rejeté dans l'enceinte de confinement environ 40 % des matières radioactives qu'il contenait, ce qui représente à peu près la même quantité que celle qui a été rejetée dans l'atmosphère lors de l'accident de Tchernobyl. Dans certaines parties de la centrale et l'enceinte de confinement, des niveaux de rayonnement 1 000 fois plus élevés que la normale, voire davantage, ont rapidement été atteints. Cependant, les opérateurs n'avaient toujours pas compris que le cœur n'était plus refroidi, malgré ces indices indiscutables de fusion. Au bout de quelques heures, ils ont mis en route un nombre suffisant de pompes pour recouvrir d'eau le cœur fondu. Il a fallu plusieurs heures pour refroidir la masse fondue. L'enceinte de confinement, bien que n'ayant pas été conçue pour de telles conditions, est restée pratiquement intacte, et comme seulement une très petite fraction

des matières radioactives a été rejetée dans l'atmosphère, l'exposition du public a été faible. Il s'est écoulé plusieurs jours avant que l'on se rende compte que le danger d'un rejet majeur était écarté et ce n'est qu'après plusieurs années que l'on a découvert que le cœur avait fondu.

Comme il a été dit plus haut, deux jours après la fusion du cœur, il a été conseillé aux femmes enceintes et aux enfants d'âge préscolaire de quitter la zone comprise dans un rayon de 8 km [63]. Cependant, dans son enquête, la NRC a conclu qu'il aurait été prudent de recommander l'évacuation à titre de précaution au moment où le cœur se dégradait parce que l'enceinte de confinement se remplissait de gaz et de vapeurs extrêmement radioactifs, ce qui ne laissait plus qu'une seule barrière pour protéger la population des environs, à savoir l'enceinte de confinement, dont le taux de fuite était connu et ne pouvait qu'augmenter sous l'effet de la pression interne [66]. En outre, la recommandation d'évacuation adressée à quelques milliers de femmes enceintes et d'enfants d'âge préscolaire a été suivie par des familles entières et on estime que plus de 100 000 personnes ont quitté la zone comprise dans un rayon de 40 kilomètres autour de la centrale.

2. L'ACCIDENT DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE TCHERNOBYL

L'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl dans le nord de l'Ukraine le 26 avril 1986 a entraîné la libération dans l'atmosphère de grandes quantités de matières radioactives, principalement des isotopes radioactifs de césium et d'iode. De vastes zones ont été contaminées par ces rejets au Bélarus, en Fédération de Russie et en Ukraine ainsi que, dans une moindre mesure, dans d'autres pays, et un grand nombre de personnes ont subi de ce fait des expositions internes et externes aux rayonnements.

L'accident de Tchernobyl a causé 30 décès (dont 28 dus à l'exposition aux rayonnements) parmi le personnel de la centrale et les pompiers en l'espace de quelques jours à quelques semaines. En outre, environ 240 000 membres des équipes d'intervention, appelés « liquidateurs » ou « nettoyeurs », ont participé en 1986 et 1987 à de vastes opérations d'atténuation des effets de l'accident sur le site et dans un rayon de 30 km. Des activités d'atténuation résiduelles se sont poursuivies sur une assez grande échelle jusqu'en 1990. Au total, environ 600 000 personnes (civils et militaires) ont reçu des certificats spéciaux attestant leur statut de liquidateurs, conformément à la législation en vigueur au Bélarus, en Fédération de Russie et en Ukraine [32, 39].

En outre, à cause des rejets massifs de matières radioactives dans l'atmosphère, il a fallu évacuer environ 116 000 personnes des zones voisines du réacteur en 1986 et, après 1986, reloger environ 220 000 personnes au Bélarus, en Fédération de Russie et en Ukraine.

L'accident a eu lieu lors d'un essai technique à faible puissance du réacteur n° 4 de la centrale. Le mauvais fonctionnement du réacteur en régime d'instabilité a entraîné une excursion de puissance incontrôlable se soldant par des explosions de vapeur successives qui ont gravement endommagé le bâtiment du réacteur et complètement détruit le réacteur.

La plus grande partie des radionucléides rejetés par le réacteur endommagé l'ont été sur une période de dix jours, mais avec des taux de rejet variables, ^{131}I et ^{137}Cs étant les plus importants d'un point de vue radiologique, car ils ont été responsables de l'essentiel de l'exposition subie par la population. Selon les estimations, les rejets de ^{131}I et de ^{137}Cs auraient représenté 1 760 et 85 PBq [90] respectivement (1 PBq = 10^{15} Bq). Il convient de noter cependant que les doses ont été estimées à partir de mesures environnementales, thyroïdiennes ou anthroporadiométriques, et qu'il n'était pas nécessaire pour cela de connaître les quantités rejetées.

Les trois principales zones contaminées, c'est-à-dire celles présentant des niveaux de dépôt de ^{137}Cs supérieurs à 37 kBq m^{-2} (1 Ci km^{-2}), se trouvent au Bélarus, en Fédération de Russie et en Ukraine. Il a été convenu de les appeler zones centrale, de Gomel-Moghilev-Briansk et de Kalouga-Toula-Orel. La zone centrale se trouve à une distance maximale de 100 km du réacteur, principalement à l'ouest et au nord-ouest. Le centre de la zone de Gomel-Moghilev-Briansk se trouve à 200 km au nord-nord-est du réacteur, aux frontières des régions de Gomel et de Moghilev au Bélarus et de la région de Briansk en Fédération de Russie. La zone de Kalouga-Toula-Orel est située en Fédération de Russie, à environ 500 km au nord-est du réacteur. Au total, comme il est indiqué dans les publications [39, Annexe J ; 56, Appendice A], des territoires d'une superficie d'environ $150\,000 \text{ km}^2$ ont été contaminés dans l'ex-Union soviétique. Ces territoires comptent environ cinq millions d'habitants.

En dehors de l'ex-Union soviétique, des niveaux de dépôt de ^{137}Cs compris entre 37 et 200 kBq m^{-2} ont été relevés dans de nombreuses zones du nord et de l'est de l'Europe représentant au total $45\,000 \text{ km}^2$, soit environ le tiers de la superficie contaminée dans l'ex-Union soviétique.

Les doses les plus élevées ont été reçues par les quelque 600 membres du personnel d'intervention d'urgence présents sur le site de la centrale la nuit de l'accident. Ces doses ont été essentiellement reçues par irradiation externe, l'incorporation de radionucléides par inhalation étant relativement faible dans la plupart des cas. Un syndrome d'irradiation aiguë a été diagnostiqué chez 134 de ces personnes, dont 41 avaient reçu des doses au corps entier par irradiation externe inférieures à 2,1 Gy. Les 93 autres avaient reçu des doses plus élevées (50 avaient reçu entre 2,2 et 4,1 Gy, 22 entre 4,2 et 6,4 Gy et 21 entre 6,5 et 16 Gy) et présentaient un syndrome d'irradiation aiguë plus sévère. Les doses à la peau dues à l'exposition au rayonnement bêta qui ont été évaluées chez huit des patients atteints du syndrome d'irradiation aiguë étaient de 10 à 30 fois supérieures aux doses au corps entier reçues par irradiation externe.

Les doses à la thyroïde reçues par les personnes évacuées variaient en fonction de l'âge, du lieu de résidence et de la date de l'évacuation des intéressés. Par exemple, pour les habitants de Pripiat, dont la plupart avaient été évacués dans les 48 heures suivant l'accident, la dose moyenne à la thyroïde pondérée sur la population a été estimée à 0,17 Gy et se situait entre 0,07 Gy pour les adultes et 2 Gy pour les nourrissons. Pour l'ensemble des personnes évacuées, la dose moyenne à la thyroïde pondérée sur la population a été estimée à 0,47 Gy. Les doses aux organes et tissus autres que la thyroïde étaient, en moyenne, beaucoup plus faibles.

Après les premières semaines ayant suivi l'accident, au cours desquelles le principal facteur d'exposition était ^{131}I , les doses ont été délivrées à des débits de dose beaucoup plus faibles par des radionucléides à demi-vie beaucoup plus longue. À partir de 1987, les doses totales reçues par les populations des zones contaminées ont essentiellement été dues à l'exposition externe aux dépôts surfaciques de ^{134}Cs et de ^{137}Cs et à l'exposition interne due à la contamination des denrées alimentaires par ^{134}Cs et ^{137}Cs . D'autres facteurs comme la consommation d'aliments contaminés par ^{90}Sr et l'inhalation d'aérosols contenant des isotopes de plutonium ont également contribué, généralement de façon marginale, aux expositions à long terme. Tant l'irradiation externe que l'irradiation interne dues à ^{134}Cs et ^{137}Cs se traduisent par des doses relativement uniformes à tous les organes et tissus du corps. Les doses efficaces moyennes imputables à ^{134}Cs et ^{137}Cs que les habitants des zones contaminées ont reçues au cours des dix premières années qui ont suivi l'accident ont été estimées à environ 10 mSv. La dose efficace médiane était de l'ordre de 4 mSv et seulement 10 000 personnes environ auraient reçu des doses efficaces supérieures à 100 mSv. Les doses efficaces sur la vie entière devraient être supérieures d'environ 40 % aux doses reçues au cours des dix premières années qui ont suivi l'accident [105].

3. L'ACCIDENT DE CRITICITÉ DE TOKAIMURA (JAPON)

En 1999, à Tokaimura (Japon), un accident de criticité s'est produit dans une usine de fabrication de combustible pendant le traitement de combustible hautement enrichi destiné à un réacteur rapide expérimental lorsque des travailleurs, utilisant des procédures non autorisées, ont versé 16,6 kg d'uranium enrichi à 18,8 % dans une cuve de précipitation, ce qui a provoqué une excursion de criticité.

Trois travailleurs (A, B et C) ont respectivement reçu des doses comprises entre 10 et 20 Gy, 6 et 10 Gy et 1,2 et 5,5 Gy. Les travailleurs A et B, qui avaient reçu les doses les plus élevées, sont respectivement décédés 83 jours et 211 jours après l'accident. Parmi les travailleurs recrutés pour travailler dans des conditions contrôlées d'exposition aux rayonnements, 21 ont participé à la vidange de l'eau de la chemise de refroidissement et ont reçu des doses estimatives (rayonnement gamma et neutrons) comprises entre 0,04 et 119 mGy. Six travailleurs chargés de verser de l'acide borique dans la cuve de précipitation ont reçu entre 0,034 et 0,61 mGy et 56 autres travailleurs présents sur le site entre 0,1 et 23 mGy. Trois employés des services d'urgence de Tokaimura qui ont emmené les trois travailleurs exposés (A, B et C) à l'hôpital ont reçu entre 0,5 et 3,9 mGy et sept ouvriers qui assemblaient un échafaudage sur un chantier de construction entre 0,4 et 9,1 mGy [12].

Bien qu'ayant eu quelques conséquences pour les populations avoisinantes, l'accident de criticité de Tokaimura ne devrait pas avoir d'effet significatif à long terme. Sur les quelque deux cents habitants qui ont été évacués dans un rayon de 350 m, environ 90 % ont reçu des doses inférieures à 5 mSv, et, parmi les autres, aucun n'a reçu plus de 25 mSv. Malgré la présence d'une contamination mesurable due à des dépôts atmosphériques de produits de fission en dehors du site, cette contamination n'a pas duré longtemps et les valeurs maximales mesurées étaient inférieures à $0,01 \text{ mSv h}^{-1}$ [77].

Au cours des cinquante dernières années, il s'est produit plusieurs accidents de criticité ayant entraîné un important rejet de radioactivité dans un laps de temps très court. Ces accidents se sont souvent soldés par des doses mortelles pour les personnes se trouvant à proximité mais n'ont cependant pas provoqué des rejets de matières radioactives dans l'atmosphère ni des émissions de rayonnement d'une importance telle qu'ils constituent une menace pour la santé à plus d'un kilomètre de distance (beaucoup moins dans la plupart des cas).

4. L'ACCIDENT DE GOIÂNIA

L'accident de Goiânia, l'un des accidents radiologiques les plus graves jamais enregistrés, a fait quatre morts et de nombreux blessés par irradiation et entraîné la contamination radioactive de certaines parties de la ville.

Goiânia, qui compte un million d'habitants, est la capitale de l'État brésilien de Goiás. En 1985, un centre médical privé qui gérait une clinique dotée d'un appareil de radiothérapie contenant une source radioactive très dangereuse (50,9 TBq de césium 137) a été fermé dans un contexte litigieux. Après la cessation d'activité, personne n'a pris la responsabilité de cet appareil. La fermeture avait été précipitée par le fait que le propriétaire du terrain voulait y réaliser un nouveau projet. Lors de la préparation du chantier, la clinique a été partiellement démolie, mais le promoteur s'est trouvé à court d'argent. En conséquence, l'appareil de radiothérapie a été laissé à l'abandon dans un bâtiment inoccupé.

Ayant entendu dire que la clinique abandonnée contenait encore du matériel, deux habitants des environs s'y sont rendus. Ils ont trouvé l'appareil de radiothérapie et, bien que ne sachant pas ce que c'était, ont détaché de sa tête d'irradiation l'assemblage contenant la source radioactive dangereuse, pensant que celui-ci pouvait avoir de la valeur comme métal de récupération. Ils ont emporté l'assemblage chez eux et, en essayant de le démonter, ont fracturé la capsule-source. Le contenu radioactif de la capsule se présentait sous la forme de chlorure de césium, un sel hautement soluble qui se disperse facilement. Une fois la capsule fracturée, ce qui restait de l'assemblage a été vendu à un ferrailleur. Celui-ci a remarqué que les matériaux provenant de la source émettaient une lueur bleue dans l'obscurité. Plusieurs personnes se sont montrées fascinées par ce phénomène et, sur une période de plusieurs jours, parents et amis sont venus l'observer. Des fragments de la source gros comme des grains de riz ont été distribués à plusieurs familles, ce qui a entraîné une exposition au chlorure de césium par irradiation externe et ingestion. Au bout de cinq jours, une vaste zone était contaminée et un certain nombre de personnes avaient été gravement exposées et ont commencé à présenter des symptômes tels que des nausées et des vomissements, puis des lésions cutanées.

Après quelques jours, l'une de ces personnes est allée consulter un médecin, mais celui-ci l'a renvoyée chez elle, car il n'a pas reconnu les symptômes de l'irradiation. Environ deux semaines plus tard, après que de nombreuses personnes furent tombées malades, une femme a acquis la conviction que la poudre luminescente provenant de l'assemblage de la source en était la cause. Elle a placé les restes de l'assemblage de la source dans un sac, s'est rendue en bus chez un médecin local et posé le sac sur le bureau de celui-ci en

lui disant que le contenu était « en train de tuer sa famille ». Inquiet, le médecin a déposé le sac dans une cour où il est resté pendant une journée.

À peu près au même moment, l'un des médecins qui traitaient les victimes s'est douté que les lésions cutanées pouvaient être dues à une irradiation. Ayant été contacté comme suite à ces doutes, le médecin qui avait reçu le sac contenant des fragments de la source a décidé de faire contrôler le sac en question pour savoir s'il était radioactif. Le physicien médical qui s'est rendu au cabinet du médecin au sac suspect a immédiatement relevé des valeurs maximales sur son débitmètre de dose, quelle que soit la direction dans laquelle il le dirigeait. Il a supposé que l'appareil était défectueux et est allé en chercher un autre. Comme le nouvel appareil indiquait également des débits de dose très élevés dans toutes les directions, il a compris qu'il était en présence d'une importante source de rayonnement.

Le physicien médical et le médecin ont immédiatement fait évacuer une partie des habitants du quartier et ont signalé la situation aux autorités locales qui, à leur tour, l'ont signalée aux autorités nationales à Rio de Janeiro. Cependant, aucun dispositif d'urgence n'avait été prévu au niveau local ou national pour faire face à un tel accident et toutes les ressources nécessaires se trouvaient à Rio et à Sao Paulo, à plus de 1 300 km.

Les autorités locales ont fait évacuer les habitants des zones contaminées vers un stade de football en attendant que des experts, qui ont commencé à arriver à la première heure le lendemain, procèdent au triage. Il a fallu cinq jours pour prendre le contrôle de la situation d'urgence.

Un service de surveillance des personnes et des objets a été assuré au Stade olympique de Goiânia. Au total, environ 110 000 personnes s'y sont présentées, dont 249 avaient effectivement été contaminées. Celles qui avaient seulement subi une contamination externe ont été décontaminées, mais 129 avaient également subi une contamination interne et nécessitaient des soins médicaux. Soixante-dix-neuf personnes dont les doses au corps entier, déterminées par des méthodes cytogénétiques, étaient faibles ont été prises en charge en consultation externe. Cinquante personnes nécessitaient une surveillance médicale étroite ; trente d'entre elles sont restées en observation médicale à l'unité de soins de santé de première ligne et les 20 autres ont été hospitalisées dans une unité de deuxième ligne.

Quatorze de ces patients nécessitaient des soins médicaux intensifs et ont été transférés à l'unité de troisième ligne à Rio de Janeiro. Quatre sont morts dans le mois qui a suivi l'accident des suites de complications du syndrome d'irradiation aiguë, notamment d'hémorragies et d'infections [13].

Environ 150 personnes qui avaient été exposées et/ou contaminées ont été suivies et les effets observés sur leur santé ont été présentés dans la publication [13]. Les doses collectives dues à l'exposition externe et interne ont été estimées respectivement à 56,3 et 3,7 homme.Sv, dont 14,9 et 2,3 homme.Sv pour les quatre personnes décédées [106].

Dans un premier temps, les sites contaminés ont été recensés sur la base des informations fournies par les personnes examinées. Certains endroits présentaient un niveau de contamination élevé. Une forte contamination a été mesurée dans 85 logements, dont 41 ont été évacués [13]. Sept maisons ont été démolies. En outre, 45 lieux publics (rues,

places et magasins, notamment) ont dû être décontaminés. La présence de contamination a également été détectée sur une cinquantaine de véhicules. La mise en œuvre du programme de décontamination a duré six mois. Au total, 3 500 m³ de déchets ont été enlevés [13]. L'absence d'accord initial sur le choix du site de stockage temporaire des déchets a failli provoquer l'arrêt du programme. Il a fallu l'intervention personnelle du président brésilien pour résoudre le problème. L'installation de stockage définitif a été construite en 1997, près de dix ans après l'accident.

Au total, 755 professionnels ont participé à l'intervention d'urgence et aux opérations de décontamination qui ont suivi. En outre, une assistance internationale a été fournie dans le cadre d'accords bilatéraux et de la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique.

5. L'ACCIDENT DE SAN JOSÉ (COSTA RICA)

Cet événement, survenu à l'hôpital San Juan de Dios à San José, a commencé le 22 août 1996 lorsqu'une source de radiothérapie au ⁶⁰Co a été remplacée. En raison d'une erreur de calcul du débit de dose commise lors de l'étalonnage de la nouvelle source, les patients se sont vu administrer des doses de rayonnement nettement plus élevées que celles prescrites, provoquant ainsi un grave accident radiologique dont ont été victimes 115 patients qui étaient traités par radiothérapie pour des tumeurs. L'erreur a été reconnue le 27 septembre 1996 et les traitements ont été interrompus. L'appareil de radiothérapie a été officiellement arrêté le 3 octobre 1996.

Les mesures effectuées sur l'appareil en cause et l'examen des dossiers des patients ont confirmé que les débits de dose avaient été 50 à 60 % plus élevés que ce que l'on avait supposé. Il est ressorti d'examens et d'évaluations concernant 70 des 73 patients qui étaient encore en vie au moment de l'étude de l'AIEA en juillet 1997 que quatre souffraient de graves conséquences dues à la surexposition et que 16 autres subissaient des effets néfastes importants et constitueraient un groupe à haut risque à l'avenir. Vingt-six présentaient des effets sans gravité mais étaient susceptibles de subir des effets ultérieurement. Vingt-deux ne présentaient pas d'effets perceptibles et il a été estimé que le risque qu'ils en subissent à l'avenir était faible parce que beaucoup n'avaient reçu qu'une petite partie de leur thérapie avec la nouvelle source. Au moins deux avaient été sous-exposés. Trois n'ont pas été examinés.

Quarante-deux patients étaient décédés au 7 juillet 1997, soit neuf mois après l'accident. Il est ressorti d'un examen des données concernant 34 de ces patients, effectué avant l'achèvement des rapports définitifs des autopsies complètes et de l'examen des dossiers cliniques, que la surexposition pouvait avoir été la cause directe de trois décès et une cause majeure de quatre autres. Vingt-deux patients étaient apparemment décédés des suites de leur maladie et non de l'exposition aux rayonnements, et les informations concernant les cinq décès restants étaient peu concluantes ou non disponibles. Les résultats de l'examen des patients et des dossiers sont récapitulés dans le tableau 2.

TABLEAU 2. CONCLUSIONS DE L'EXAMEN MÉDICAL [20]

Nombre de patients	Effets nocifs observés chez les patients ayant survécu
4	Effets graves
16	Effets marqués, avec un risque élevé d'effets futurs
26	Effets radiologiques sans gravité au moment de l'examen ; risque d'effets futurs
22	Aucun effet important observable au moment de l'examen ; faible risque d'effets futurs
2	Patients sous-exposés en raison de l'arrêt du traitement (lorsque l'erreur a été découverte)
3	Pas d'effet observable ; effets futurs possibles dans un cas
Total 73	
Nombre de décès	Conclusions concernant les patients décédés
3	L'exposition a été la cause principale du décès
4	L'exposition a été une cause importante du décès
22	Décès imputable à une tumeur ou à une autre cause que l'exposition
5	Données insuffisantes pour émettre un avis
8	Les données relatives aux patients n'ont pas été examinées
Total 42	

6. L' ACCIDENT DE SAN SALVADOR

Cet accident est survenu en février 1989 dans une installation d'irradiation industrielle près de San Salvador (El Salvador). Des produits médicaux préemballés étaient stérilisés par irradiation dans cette installation au moyen d'une source au cobalt 60 placée dans un porte-source mobile. L'accident s'est produit lorsque le porte-source est resté bloqué en position d'irradiation. L'opérateur (travailleur A), contournant les systèmes de sûreté déjà dégradés de l'irradiateur, est entré dans la chambre d'irradiation et a essayé de remédier au problème. N'y parvenant pas seul, il est ressorti au bout d'environ cinq minutes, puis est revenu peu après avec deux autres travailleurs d'un autre service (B et C), qui n'avaient aucune expérience de l'installation d'irradiation, afin de débloquent manuellement le porte-source avec leur aide [14].

Les éléments constituant la source au ^{60}Co étaient contenus dans des crayons-sources à double enveloppe en acier inoxydable d'environ 45 cm de long et fermés par des embouts pleins en acier inoxydable d'environ 1 cm de diamètre. 14 crayons actifs et 40 crayons factices inactifs (tiges d'espacement en acier inoxydable) étaient chargés dans chacun des deux modules-sources. Lorsque la source avait été installée en juin 1975, sa radioactivité gamma totale était de 4,0 PBq (108 kCi). Au moment de l'accident, elle était tombée à 0,66 PBq (18 kCi).

Le lendemain, l'entreprise a été informée de la réception d'avis d'absence-maladie concernant les travailleurs A, B et C, mais ces avis indiquaient que les intéressés souffraient d'intoxication alimentaire. L'entreprise n'a appris que les travailleurs en question avaient subi des lésions radio-induites que quatre jours après l'accident, lorsqu'elle a été contactée par le personnel médical de l'hôpital. À ce stade, on n'avait pas encore saisi l'importance de ces lésions.

Pendant le reste de la semaine, l'irradiateur a fonctionné plus ou moins normalement, avec son contingent habituel d'arrêts pour réparations nécessitant généralement de pénétrer dans la chambre d'irradiation. On pense que le porte-source avait été endommagé au cours du premier événement, qui en a entraîné un second plus tard dans la semaine, au cours duquel les crayons ont tous été éjectés du module supérieur de la source. Un crayon actif a été retrouvé plus tard dans la chambre d'irradiation ; les autres étaient tous tombés dans l'eau de la piscine.

Le niveau de rayonnement élevé dans la chambre d'irradiation (causé par le crayon actif) a été détecté le sixième jour. L'entreprise ayant demandé son aide, le fournisseur a envoyé deux membres de son personnel qui ont finalement retrouvé le crayon et l'ont transféré dans la piscine. On avait d'abord pensé que personne n'avait été exposé du fait de ce second événement. Cependant, les tests cytogénétiques effectués dans le cadre de l'enquête sur l'accident ont révélé que quatre travailleurs avaient reçu des doses supérieures aux limites d'exposition professionnelle.

Un débitmètre de dose ayant pour fonction de verrouiller la porte d'accès du personnel à la chambre d'irradiation de l'installation était installé sur la paroi de cette chambre pour en empêcher l'accès en présence de niveaux de rayonnement anormaux. Pour entrer dans la chambre d'irradiation, l'opérateur devait d'abord appuyer sur le bouton de contrôle du débitmètre. Cependant, plus de cinq ans avant l'accident, le capteur du débitmètre était tombé en panne et on l'avait retiré en laissant son câblage en place. Le retrait du capteur

aurait dû rendre l'irradiateur inopérant, mais le personnel avait découvert qu'il était possible d'accéder à la chambre d'irradiation en appuyant sur le bouton de contrôle du débitmètre et en faisant tourner de façon répétée les boutons du cadran. Cette méthode d'accès était devenue la procédure «habituelle». Ainsi, un élément important du dispositif de sûreté prévu était contourné [14].

La pratique consistant à utiliser le débitmètre de dose à l'extérieur de la porte (fermée) d'accès du personnel à la chambre d'irradiation a été, lors du second événement, un facteur crucial dans l'exposition d'au moins quatre travailleurs (le responsable de la maintenance et les travailleurs X, Y et Z). À l'extérieur de la porte, le débit de dose devait être au moins trente fois plus faible que juste de l'autre côté, à l'intérieur du labyrinthe d'entrée. Alors que la source complète (ou même avec un seul de ses deux modules) en position relevée était détectable avec le débitmètre tenu à la main devant la porte fermée, un seul crayon actif ne pouvait l'être qu'en plaçant le débitmètre à l'intérieur du labyrinthe d'entrée.

Aucun des quatre travailleurs ne portait de dosimètre individuel et leur exposition n'a été découverte que plus tard, lorsque tous les travailleurs susceptibles d'avoir été exposés du fait de l'accident ont été soumis à des tests cytogénétiques. Les doses estimatives allaient de 0,09 à 0,22 Gy. Si le niveau de rayonnement élevé dû à la présence du crayon-source actif dans la chambre d'irradiation était resté inaperçu, les opérateurs auraient, du fait d'expositions continues non contrôlées, accumulé des doses beaucoup plus élevées, voire mortelles.

Les trois travailleurs (A, B, et C) fortement exposés ont développé un syndrome d'irradiation aiguë. Les traitements hospitaliers qu'ils ont reçus à San Salvador (puis le traitement plus spécialisé dont ils ont fait l'objet à Mexico) ont été efficaces contre les effets aigus. Cependant, deux d'entre eux avaient aux jambes et aux pieds des blessures si graves qu'il a fallu les amputer. Celui qui avait été le plus exposé (A) est décédé six mois et demi après l'accident, le décès étant attribué à des séquelles pulmonaires de l'irradiation aggravées par une blessure subie en cours de traitement.

Pour le travailleur B, le soutien psychologique nécessaire après l'amputation est devenu le facteur de convalescence le plus important. Le travailleur C a suivi un traitement de réhabilitation complémentaire destiné à soulager les effets chroniques résiduels, en particulier dans son pied le plus exposé [14].

7. LE REJET DE MATIÈRES DANGEREUSES DE BHOPAL (INDE)

La filiale indienne de la société Union Carbide Corporation exploitait à Bhopal une usine qui, pour fabriquer un pesticide, utilisait de l'isocyanate de méthyle, substance hautement toxique, inflammable et soluble dans l'eau. Malgré de bonnes prévisions de ventes, le marché des pesticides était déprimé et l'usine n'était pas rentable. Pour économiser, la société a réduit les crédits de formation à la sûreté et de maintenance. Une nuit de 1984, un accident survenu dans l'usine a entraîné un rejet gazeux non contrôlé d'isocyanate de méthyle qui, au lieu d'être arrêté par les dispositifs de sûreté (comprenant une torchère censée brûler le gaz qui s'échappait et un rideau d'eau censé le dissoudre et le faire retomber sans danger dans une piscine de récupération), a été entraîné par le vent au-dessus d'un bidonville où vivaient des milliers de personnes. Pire encore, la sirène qui

a retenti lors de l'accident a attiré une foule de curieux vers l'usine. Environ 2 000 personnes sont mortes et 20 000 autres ont été grièvement blessées du fait des atteintes aux yeux, aux muqueuses et aux poumons causées par l'isocyanate de méthyle. La mauvaise qualité des logements du bidonville ne permettait pas un confinement efficace, mais il aurait dû être possible de procéder au moins à une évacuation partielle de la zone touchée. En outre, si les habitants avaient su que l'isocyanate de méthyle était soluble dans l'eau, ils auraient pu réduire leur exposition en se couvrant le visage avec des serviettes humides [81].

8. LES OURAGANS KATRINA ET RITA

Avec un bilan de près de 1 500 morts, Katrina a été l'ouragan le plus meurtrier en quatre-vingts ans aux États-Unis et le troisième de l'histoire du pays. La plupart des victimes sont mortes à la Nouvelle Orléans après la rupture de plusieurs des digues qui protégeaient la ville. Katrina, en faisant pour environ 75 milliards de dollars de dégâts, a aussi été la catastrophe la plus coûteuse de l'histoire des États-Unis. Le bilan économique total, qui comprend les pertes indirectes dues à l'interruption des activités des entreprises, est environ deux fois plus élevé.

L'ouragan Rita a frappé une zone à cheval entre la Louisiane et le Texas, mais a fait moins de victimes parce que les évacuations ont commencé plus rapidement et les consignes ont été mieux suivies que lors de Katrina. Il a aussi causé moins de dégâts (environ 10 milliards de dollars), car il a frappé une zone moins construite [62]. Une évaluation préliminaire des données est présentée ci-après.

Évaluation de l'urgence

La fonction d'évaluation d'urgence pour les ouragans est principalement assurée par le National Weather Service, en particulier le National Hurricane Center (NHC) et ses bureaux locaux de prévision. Les deux ouragans ont été correctement suivis et des informations ont été communiquées en temps opportun aux autorités fédérales, des États et locales ainsi qu'aux médias. Pour Katrina, le NHC a émis un avis de vigilance (Hurricane Watch) à 10 heures le 27 août 2005 et un avis d'alerte (Hurricane Warning) à 22 heures le même jour. L'œil de l'ouragan a touché terre à la frontière entre la Louisiane et le Mississippi le 29 août vers 11 heures. Pour Rita, le NHC a émis un avis de vigilance à 16 heures le 21 septembre 2005 et un avis d'alerte à 11 heures le 22 septembre. L'œil de l'ouragan a touché terre près de Sabine Pass, à la frontière entre le Texas et la Louisiane, le 24 septembre vers 4 heures.

Protection de la population

Les autorités locales de la Nouvelle-Orléans ont beaucoup trop tardé à ordonner l'évacuation lors de Katrina – jusqu'au 28 août, c'est-à-dire un jour avant que l'ouragan touche terre – alors qu'elles avaient décidé l'évacuation près de 30 heures auparavant. Ce retard semble avoir été causé par des problèmes qui auraient dû être résolus au stade de la planification. De nombreuses familles ont pu quitter la ville, notamment parce que certaines d'entre elles sont parties avant l'ordre d'évacuation officiel. Cependant, de nombreuses autres sont restées faute de moyens de transport. En effet, environ un tiers des ménages de la Nouvelle-Orléans ne possédaient pas de véhicule ou, s'ils en avaient un, celui-ci n'était pas assez fiable pour sortir de la ville. Une fois la ville inondée,

nombre de ceux qui étaient restés ont dû quitter leur domicile pour se réfugier dans le Superdome et le Convention Center. Ces bâtiments étaient dépourvus de réserves de nourriture et d'eau et de groupes électrogènes de secours.

Les hélicoptères de la Garde côtière (US Coast Guard) ont immédiatement entrepris des opérations de recherche et de sauvetage, que sont venues soutenir par la suite des équipes de recherche et de sauvetage en milieu urbain (USAR) d'autres États. Les victimes extraites de la zone touchée ont été réparties dans des centres d'accueil de grande capacité dans tout le pays mais de façon extrêmement inégale, des dizaines de milliers d'entre elles étant envoyées à Houston, Dallas et San Antonio et d'autres jusqu'à Minneapolis et Salt Lake City, à des milliers de kilomètres de chez elles. Certaines familles ont été séparées et il a fallu des semaines pour les réunir à nouveau. La prise en charge médicale a été un problème sérieux pendant l'ouragan et immédiatement après. Les patients de plusieurs foyers médicalisés avaient été abandonnés par le personnel avant l'arrivée de l'ouragan et certains d'entre eux se sont noyés lorsque la ville a été inondée. Quelques hôpitaux sont restés ouverts pendant l'ouragan, mais rares étaient les personnes qui pouvaient s'y rendre. L'accès à la Nouvelle-Orléans et à d'autres zones touchées a été étroitement contrôlé après l'ouragan. Même des comtés où il y avait eu peu de dégâts (Saint-Charles et Jefferson, à l'ouest de la Nouvelle-Orléans) sont restés interdits d'accès pendant une semaine.

Les ordres d'évacuation pour Rita ont commencé à être donnés le 21 septembre – trois jours avant que l'ouragan ne touche terre. Le maire de Houston a exhorté les habitants des « zones basses » à évacuer les lieux, mais c'était une instruction ambiguë étant donné que la ville est très plate. La gestion de la circulation a été extrêmement difficile, car le nombre de personnes évacuées (estimé à 1,6 million) a largement dépassé les prévisions (environ 500 000). Il en a résulté de sérieux embouteillages qui ont retardé l'évacuation de la zone où l'ouragan a finalement touché terre. Ces problèmes ont été résolus en inversant le sens de circulation des voies d'autoroute entrantes pour absorber le trafic sortant. L'évacuation d'un si grand nombre de personnes a lourdement grevé les capacités d'hébergement. La zone touchée étant faiblement peuplée, les opérations de recherche et de sauvetage menées après l'ouragan ont été limitées mais fructueuses. La prise en charge médicale a généralement été meilleure que lors de Katrina parce que les hôpitaux et les foyers médicalisés avaient été évacués avant l'ouragan, mais 24 résidents d'un foyer médicalisé sont morts dans l'incendie de leur bus.

Réparation des dégâts

La réparation des digues endommagées à la Nouvelle-Orléans a commencé dès le début des inondations. En outre, des moyens extérieurs considérables ont afflué vers la zone touchée pour enlever les débris et rétablir les infrastructures (électricité, eau, égouts, transports et télécommunications). Des travaux similaires ont été lancés dans les zones touchées du Mississippi et de l'Alabama. Malheureusement, ces opérations ont été ralenties par un défaut de coordination. Dans un cas, la Federal Emergency Management Agency (FEMA) a refusé du personnel et des équipements utiles provenant d'un autre organisme fédéral.

Gestion des incidents

Le nombre insuffisant de policiers, de bus d'évacuation (à la Nouvelle-Orléans) et de contrôleurs de bagages (à l'aéroport à Houston), ainsi que la logistique, la coordination externe, la communication et la documentation ont sans doute été les principaux points faibles de la gestion des deux ouragans. Les organismes aux niveaux local, fédéré et fédéral ne disposaient pas d'informations exactes sur la situation ni sur l'action d'autres intervenants. Le maire de la Nouvelle-Orléans affirme avoir demandé l'aide fédérale le 29 août, mais cette aide n'a commencé à arriver que quatre jours plus tard. Le retard semble avoir été dû, en partie, à des désaccords entre autorités fédérales et fédérées sur le point de savoir quel niveau était responsable. Au sein du Gouvernement fédéral, la FEMA (l'organisme habituellement chargé des opérations en cas de catastrophe) a été remplacé par l'armée. Le public a généralement été bien informé, surtout parce que les deux ouragans ont reçu une large couverture médiatique. De fait, la télévision semble avoir été une importante source d'information pour les organismes d'intervention. Les reporters ont donné des descriptions exactes des conditions d'accueil déplorables dans le Superdome et le Convention Center à la Nouvelle-Orléans ainsi que des embouteillages massifs à l'extérieur de Houston. Toutefois, ils se sont également fait l'écho de rumeurs infondées faisant état de violences et grossièrement exagéré la criminalité à la Nouvelle-Orléans [62].

9. LES ATTENTATS À LA BOMBE DU 7 JUILLET 2005 À LONDRES

Dans la matinée du 7 juillet 2005, le centre de Londres a été le théâtre de quatre explosions distinctes mais coordonnées résultant d'attentats-suicides à la bombe dans les transports publics. Trois se sont produites dans le métro et une dans un bus, faisant 52 morts et environ 700 blessés. L'effet cumulé de ces événements, dont chacun était grave en soi, a d'autant plus compliqué la mise en œuvre du dispositif d'intervention que l'on pouvait craindre que d'autres attentats se produisent à tout moment.

Les premiers intervenants ont pu rapidement confirmer l'absence de rayonnement ou de tout autre élément NRBC. Cependant, tous les organismes qui auraient eu à intervenir s'il s'était agi d'une attaque NRBC avaient déjà commencé à mettre en alerte leurs moyens d'intervention d'urgence. Cela était en soi une expérience d'autant plus précieuse que bon nombre de ces organismes avaient d'autres rôles à jouer dans une situation d'urgence classique. Par exemple, le principal organisme de radioprotection, la HPA, comprenait d'autres divisions chargées de donner des conseils sur diverses questions de santé publique comme les risques d'exposition à des substances chimiques dans le métro de Londres après l'explosion et la prévention de la propagation d'infections par le sang et les fluides corporels. Dans l'ensemble, le dispositif d'intervention d'urgence a bien fonctionné, mais il était malgré tout possible de tirer des enseignements, dont beaucoup valaient aussi pour les dispositions en matière de radioprotection [102, 107].

Au moment des attentats, la HPA était un organisme relativement récent, né du regroupement d'un certain nombre d'organismes parvenus à maturité ayant chacun sa propre expérience des situations d'urgence. Malgré les progrès réalisés dans l'harmonisation des dispositifs, il fallait manifestement améliorer les structures de commandement et de contrôle et clarifier les responsabilités. Ces améliorations, qui ont

été apportées au cours de l'année qui a suivi, ainsi que d'autres dictées par l'expérience des alertes à la grippe aviaire, ont largement contribué à l'efficacité de l'intervention lors de l'incident d'empoisonnement au polonium 210 à Londres.

Les attentats ont notamment eu pour effet de paralyser les transports public pendant l'heure de pointe et donc d'empêcher de nombreuses personnes de se rendre à leur travail. À la suite de cette expérience, la HPA a modifié ses plans d'urgence afin que les fonctions de son centre national de coordination des interventions d'urgence (NECC) puissent être exercées dans n'importe lequel de ses quatre sites principaux dans des locaux équipés de façon similaire et pouvant servir aussi bien de salles de réunion/de formation que de centre opérationnel d'urgence. Lors des attentats, le NECC était installé au siège de la HPA à Londres et le centre opérationnel d'urgence de la Division de la radioprotection était également en service.

L'un des problèmes constatés lors de ces attentats ainsi que de l'incendie de produits pétroliers de Buncefield survenu plus tard (décembre 2005) [108] était la difficulté d'obtenir rapidement des données de surveillance de l'environnement pour évaluer les risques et être en mesure de donner aux intervenants et au Gouvernement des conseils solidement étayés. Il a donc été décidé en l'occurrence de modifier le dispositif d'intervention afin de détacher des membres du personnel de la HPA auprès des conseillers scientifiques de la police chargés de cette surveillance sur les lieux des différents attentats. Cela a facilité la circulation dans les deux sens des données de surveillance et autres informations pertinentes recueillies sur les lieux des attentats et de celles provenant des activités de surveillance de l'environnement menées par la HPA dans les espaces publics.

10. L'INCIDENT D'EMPOISONNEMENT AU POLONIUM 210 À LONDRES EN 2006

Le 23 novembre 2006, Alexander Litvinenko est décédé à Londres des suites d'un empoisonnement présumé au ^{210}Po , un émetteur alpha presque pur. De nombreux endroits à Londres ont été concernés par la propagation de la contamination radioactive consécutive à l'empoisonnement et les événements qui l'ont précédé. Le risque d'incorporer du ^{210}Po résultant de la contamination représentait une menace pour la santé publique et a suscité une inquiétude considérable parmi la population. L'ampleur de l'événement exigeait l'intervention de différents organismes, y compris l'adoption au plus haut niveau de l'État de dispositions pour la gestion de l'intervention d'urgence. La Health Protection Agency (HPA) avait la responsabilité principale de coordonner et gérer l'intervention visant à protéger la santé publique, qui a concerné des milliers de personnes [33].

Parallèlement à l'intervention, la police de Londres (London Metropolitan Police Service) menait une enquête criminelle. À mesure que l'enquête avançait, de nombreux endroits potentiellement contaminés ont été recensés. Une bonne liaison avec la police et d'autres organismes était essentielle pour gérer et ordonnancer les moyens de surveillance et les autres ressources d'intervention dans une situation évoluant rapidement. Une contamination par le polonium 210 a été relevée dans des dizaines d'endroits, notamment des hôpitaux, des hôtels, des bureaux, des restaurants, des bars et des moyens de

Dans certains cas, l'application de procédures de décontamination simples au moment de la surveillance a permis de rouvrir l'endroit en question au public. Cependant, cela n'était pas possible dans certains endroits où les niveaux de contamination étaient tels qu'il a fallu en interdire l'accès jusqu'à ce que des travaux d'assainissement ou de décontamination appropriés aient été réalisés. La phase aiguë de l'intervention a duré jusqu'en janvier 2007 et la phase de rétablissement s'est prolongée jusqu'en été.

Hospitalisation et diagnostic

Comme dans de nombreux autres incidents, il a fallu un certain temps pour déterminer que l'exposition aux rayonnements en était la cause. Le 3 novembre, quelques jours après la date à laquelle l'empoisonnement pouvait avoir eu lieu, M. Litvinenko a été admis dans un hôpital général du nord de Londres parce qu'il souffrait de vomissements, de diarrhée et de douleurs abdominales. Son état s'étant détérioré, il a été transféré dans un hôpital spécialisé de Londres. Il aurait déclaré dans une interview qu'il avait été empoisonné. Diverses causes possibles de sa maladie ont été examinées, notamment l'intoxication par des substances chimiques et les effets des rayonnements ionisants. En ce qui concerne ce dernier point, les mesures de contamination et de débit de dose effectuées sur lui et autour de lui à l'hôpital n'ont pas révélé la présence de rayonnements. Le problème crucial est venu du fait que, comme la contamination alpha est inattendue en milieu hospitalier, les appareils utilisés n'étaient pas conçus pour la détecter.

Quelques jours avant que M. Litvinenko ne décède, la police de Londres, afin de vérifier sa déclaration selon laquelle il avait été empoisonné, a demandé à ses conseillers scientifiques et à la HPA de l'aider à déterminer ce qui pouvait avoir causé ce tableau clinique. Des analyses ont montré que M. Litvinenko avait incorporé une quantité importante de ^{210}Po qui, selon les évaluations initiales de la HPA, devait avoir dépassé un GBq pour expliquer l'évolution clinique du patient [109]. En outre, l'exposition à ses fluides corporels et aux éventuelles matières-sources résiduelles (qui risquaient de s'être dispersées) pouvait constituer une menace importante pour la santé publique. On ne savait pas non plus s'il s'agissait d'un événement unique ou si d'autres événements connexes avaient eu lieu, et s'il y avait une ou plusieurs sources radioactives.

Stratégie de protection de la santé publique

Face aux dangers liés à l'incident, la HPA s'est fixé les principaux objectifs résumés ci-après en matière de protection de la santé publique :

- Pour éviter toute nouvelle exposition du public :
 - travailler en étroite collaboration avec la police afin de faciliter l'enquête criminelle et d'identifier les sites et les personnes susceptibles d'avoir été contaminés ;
 - élaborer une stratégie de surveillance de l'environnement à l'appui de ces travaux ;
 - procéder à des évaluations et donner des conseils en ce qui concerne l'accès du public aux sites contaminés et l'assainissement de ces sites.

- Pour évaluer les risques aux personnes potentiellement exposées :
 - élaborer et mettre en œuvre des critères d'évaluation des risques ;
 - proposer et mettre en œuvre une surveillance individuelle au moyen d'analyses d'urine et en communiquer les résultats.
- Conseiller et rassurer les personnes exposées et le public en général.

Pour atteindre ces objectifs, il fallait notamment déterminer les endroits qui avaient été contaminés ou exposés à la contamination depuis l'empoisonnement, recueillir des données de surveillance de l'environnement dans ces endroits et des informations sur les activités qui y étaient menées, évaluer les voies possibles d'incorporation de ^{210}Po et l'ordre de grandeur des quantités incorporées, puis identifier et classer les personnes pour lesquelles un examen clinique ou une surveillance individuelle pourraient être nécessaires.

Gestion de l'intervention

Cet incident a nécessité l'intervention de différents organismes dans le cadre du dispositif d'intervention d'urgence du Royaume-Uni [94]. Le centre de gestion de crise spécialisé du Gouvernement, le Cabinet Office Briefing Rooms (COBR), a été activé, et le Civil Contingencies Committee (CCC) a assuré la gestion globale de l'intervention depuis ce centre. À l'échelon inférieur, le Strategic Coordinating Group (SCG), présidé par la police, a coordonné les activités des organismes d'intervention conformément aux instructions données par le CCC. Dans l'ensemble, le dispositif d'intervention a bien fonctionné. Bien que cet incident fût radicalement différent des scénarios envisagés dans les secteurs du nucléaire et de la lutte antiterroriste, l'expérience acquise grâce aux nombreux exercices menés dans ces secteurs a manifestement facilité l'intervention intégrée à laquelle il a donné lieu.

Comme il était clair pratiquement dès le premier jour de l'incident que la phase de rétablissement serait longue, le SCG rapidement décidé de créer un sous-groupe, le Recovery Working Group (RWG), présidé par le Westminster City Council (WCC) et chargé d'agir pour le compte des diverses collectivités locales londoniennes touchées par la contamination. Dès le début de l'intervention, le RWG a élaboré une stratégie-cadre et des processus pour l'assainissement des endroits contaminés et la levée des restrictions les concernant [94]. Cela a beaucoup contribué à donner une idée claire des responsabilités ainsi que des protocoles et des procédures à suivre.

Surveillance et évaluations de l'environnement

Les équipes de surveillance de l'environnement ont d'abord été envoyées dans les hôpitaux où M. Litvinenko avait été traité, car il était évident que ses fluides corporels pouvaient être une source de contamination. Les niveaux de contamination relevés étaient faibles, mais les protocoles de nettoyage hospitaliers étant très rigoureux, il est probable que ces niveaux étaient beaucoup plus élevés lorsque M. Litvinenko était hospitalisé. Par conséquent, il a été jugé nécessaire de soumettre à une surveillance individuelle les membres du personnel qui avaient été en contact avec lui. La présence de radioactivité incorporée été détectée, mais les doses étaient relativement faibles, en partie en raison de l'utilisation systématique d'équipements de protection individuelle (EPI) et de procédures de lutte contre les infections.

L'enquête criminelle a rapidement permis de retracer les déplacements des personnes concernées et de recenser les lieux potentiellement contaminés. Au cours des quelques semaines qui ont suivi, on a repéré plus de quarante endroits qui devaient être surveillés et évalués soit par la police et ses conseillers scientifiques spécialisés en tant que scène de crime, soit par la HPA en tant que menace pour la santé publique. Certains éléments du dispositif national d'intervention pour les situations d'urgence nucléaires civiles et militaires ont été utilisés pour ce dernier volet, la HPA assurant la coordination du programme de surveillance en faisant appel aux ressources de plusieurs organismes à travers le pays. Au plus fort de l'incident, le personnel de surveillance comprenait 70 personnes travaillant en équipes successives. Une constatation essentielle a été faite : la contamination n'était pas répartie de manière uniforme mais sous la forme de taches bien définies et elle se fixait sur des surfaces dures dont elle ne pouvait pas être enlevée facilement, ce qui rendait son incorporation plus difficile.

Grâce à des techniques de modélisation et aux données de surveillance de l'environnement, on a estimé les ordres de grandeur des doses potentiellement reçues par les personnes qui avaient fréquenté les restaurants, les bars, les bureaux, les hôtels ou les hôpitaux ou utilisé les moyens transport où des taches de contamination par ^{210}Po avaient été trouvées, ainsi que par celles qui avaient été en contact avec des personnes potentiellement contaminées. Les quantités de ^{210}Po incorporées par ingestion, inhalation ou blessure à partir de divers objets et surfaces contaminés directement ou par l'intermédiaire de fluides corporels ont été évaluées. Ces évaluations ont constitué le fondement des questionnaires de triage utilisés pour identifier les personnes devant faire l'objet d'une surveillance individuelle. Les impacts radiologiques potentiels des rejets de ^{210}Po dans les égouts des deux hôpitaux et de l'incinération des déchets hospitaliers ont également été examinés, de même que les incidences possibles de l'inhumation ou de la crémation de M. Litvinenko.

Intervention visant à protéger la santé publique

Le 25 novembre, comme suite à une évaluation des risques, la HPA a adressé sur les médias un message aux personnes ayant fréquenté les lieux potentiellement contaminés au cours d'une période spécifiée pour les inviter à appeler NHS Direct (la permanence téléphonique 24h/24h du National Health Service). Un questionnaire avait été élaboré pour faciliter la collecte des informations essentielles lors des appels. Les coordonnées des personnes ayant éventuellement fréquenté ces lieux ont été transmises à la HPA pour évaluation et suivi. Au total, NHS Direct a reçu 3 837 appels et 1 844 questionnaires ont été transmis à la HPA pour suite à donner. À ces personnes s'ajoutaient les membres du personnel et les personnes dont on savait grâce à l'enquête policière qu'elles avaient fréquenté les lieux en question.

Une équipe de santé publique a été affectée à chaque site principal, et pour chacun de ces sites, des évaluations des risques et des questionnaires spécifiques ont été réalisés afin d'identifier les personnes à risque nécessitant une surveillance par spectrométrie alpha d'échantillons d'urine de 24 heures. Tout au long du processus, il a fallu en expliquer le déroulement et répondre aux nombreuses préoccupations du personnel et des responsables sur les sites concernés, ce qui a été rendu plus difficile par le fait que de nombreux membres du personnel hôtelier n'étaient pas de langue maternelle anglaise. Quelle que soit la façon dont elles avaient été identifiées, les personnes qui ont signalé

des symptômes potentiellement liés à des effets radiologiques ou qui étaient très inquiètes ont été triées par une équipe d'évaluation clinique. Sur les 186 personnes ainsi examinées, 29 ont été dirigées vers un établissement spécialisé pour examen clinique. Aucune ne souffrait des effets d'une irradiation aiguë.

Programme de surveillance individuelle

Il est apparu d'emblée que plusieurs centaines, voire des milliers de personnes nécessiteraient des analyses d'urine. Pour faire face à cette situation et suivre le rythme auquel ces personnes étaient identifiées, la HPA a rapidement mis au point une technique et des protocoles de surveillance qui ont été utilisés dans trois laboratoires à travers le pays. Des arrangements ont également été conclus avec d'autres laboratoires en Europe et avec l'AIEA pour le cas où il serait nécessaire de faire appel à leurs services.

Les échantillons d'urine de 752 personnes ont été traités et évalués [110]. Il a fallu élaborer un protocole permettant de présenter les résultats sous la forme de fourchettes de doses. Le polonium 210 est présent à l'état naturel et on en trouve dans n'importe quel échantillon d'urine. Le seuil de déclaration avait été fixé à 30 millibecquerels par échantillon de 24 heures afin d'avoir la quasi-certitude que tout résultat supérieur à ce seuil était dû à l'événement. Dans les cas où les valeurs étaient supérieures au seuil, il a été procédé à une évaluation de la dose efficace engagée. Les données de surveillance individuelle ont été régulièrement publiées sous forme agrégée par la HPA dans des communiqués de presse. En tout, 86 personnes avaient des niveaux de ^{210}Po dans les urines supérieurs au seuil, mais les doses étaient inférieures à 1 mSv. Pour 36 personnes, elles se situaient dans une fourchette de ≥ 1 mSv à < 6 mSv et pour 17 autres, elles étaient ≥ 6 mSv. Parmi celles ayant reçu les doses les plus élevées, 14 faisaient partie du personnel ou de la clientèle d'un bar d'hôtel, deux faisaient partie du personnel d'un autre hôtel et une était une personne de la famille de M. Litvinenko qui s'était occupée de lui avant qu'il ne soit hospitalisé. C'était cette dernière personne qui avait reçu la plus forte dose, évaluée à environ 100 mSv.

Suivi des visiteurs étrangers

Parmi les personnes potentiellement exposées au ^{210}Po figuraient, outre des résidents du Royaume-Uni, de nombreux visiteurs étrangers qui avaient séjourné ou s'étaient rendus dans l'un des hôtels ou d'autres lieux concernés par l'incident. Il fallait assurer le suivi de ces personnes par l'entremise des services diplomatiques ou des organismes de santé publique. Pour y parvenir, la HPA a créé une équipe consultative pour l'étranger (Overseas Advice Team). Établir des contacts appropriés dans les différents pays s'est avéré ardu, mais l'AIEA a pu aider à le faire. Au total, on a tenté de suivre 664 personnes dans 52 pays et territoires. Il a été très difficile de se faire communiquer les résultats en raison de règles relatives à la protection des données et du caractère confidentiel des données médicales. Des résultats concernant environ un quart des personnes identifiées ont néanmoins été reçus. Aucune n'avait reçu une dose supérieure à 6 mSv et cinq avaient reçu entre ≥ 1 mSv et < 6 mSv. Huit personnes avaient des niveaux de ^{210}Po dans l'urine supérieurs au seuil de déclaration, mais les doses étaient inférieures à 1 mSv [102].

Communication avec le public et les médias

Pendant toute la durée de l'incident, on a voulu se montrer le plus ouvert possible avec les médias et le public, tout en respectant le caractère confidentiel des enquêtes policières ainsi que les sensibilités des personnes touchées. La première conférence de presse tenue le 24 novembre a été essentielle pour donner le ton. En cette occasion, la HPA a annoncé que les tests sur M. Litvinenko avaient détecté une quantité importante de ^{210}Po , expliqué la nature des rayonnements alpha et précisé que ^{210}Po présentait un danger uniquement s'il était ingéré, inhalé ou absorbé par des blessures. Il a également été rendu compte de la surveillance proactive dont faisaient l'objet les lieux identifiés par la police.

Les premiers jours et les premières semaines, de nombreuses interviews ont été accordées à la radio et à la télévision, et la HPA a publié des communiqués de presse quotidiens dans les semaines précédant Noël tout en répondant à des milliers d'appels des médias et en actualisant les informations fournies sur son site Web. Des efforts considérables ont été déployés en liaison avec d'autres intervenants pour donner au public une idée cohérente de ce qui se passait.

APPENDICE II
DESCRIPTION DE DIFFÉRENTS TYPES DE
SITUATIONS D'URGENCE RADIOLOGIQUE

L'appendice II décrit de façon succincte et uniforme différents types de situations d'urgence radiologique et fournit des données statistiques concernant ces situations, qui sont groupées par type de pratique. Les tableaux 3 à 11 ont été dans une large mesure repris de la publication [32].

TABLEAU 3. ACCIDENTS DE CRITICITÉ

N°	Année	Pays	Région/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
1	1945	États-Unis	Nouveau Mexique (Los Alamos)	Recherche nucléaire	2 personnes exposées, 1 décès	0,5 à 5,1 Gy	N.C.*	Procédure dangereuse : pendant une expérience sur un assemblage critique, la main du scientifique a glissé et une brique de carbure de tungstène est tombée dans l'assemblage.	[77]
2	1946	États-Unis	Nouveau Mexique (Los Alamos)	Recherche nucléaire	8 personnes exposées, 1 décès	0,37 à 21 Gy	N.C.	Procédure dangereuse : lors d'une démonstration d'assemblage critique avec réflecteur au béryllium, le réflecteur a glissé, entraînant une excursion de criticité.	[77]
3	1952	États-Unis	Illinois (Argonne)	Recherche nucléaire	4 personnes exposées	0,1 à 1,6 Gy	N.C.	Non-respect de la procédure d'exploitation pendant le remplacement d'une barre de commande.	[77, 111]
4	1953	URSS	Tcheliabinsk (Complexe Maïak)	Recherche nucléaire et retraitement	2 personnes exposées, dont 1 a subi un SIA et a dû être amputée des deux jambes	1 à 10 Gy	N.C.	Défaut de conception : mauvaise géométrie utilisée, notamment pour le mélange, la dilution et le stockage de solutions de nitrate de plutonium.	[112]
5	1957	URSS	Tcheliabinsk (Complexe Maïak)	Recherche nucléaire et retraitement	6 personnes exposées, 1 est décédée, 5 autres ont subi un SAI	3 à 30 Gy	N.C.	Défaut de conception : accumulation d'oxalate d'uranyle sous une géométrie dangereuse dans une boîte à gants.	[77, 111, 112]
6	1958	URSS	Tcheliabinsk (Complexe Maïak)	Recherche nucléaire et retraitement	4 personnes exposées : 3 sont décédées, la quatrième, qui se trouvait plus loin, a survécu	Personnes décédées : 60 Gy ; autre personne : 6 Gy	N.C.	Géométrie dangereuse lors de la vidange d'une solution uranifère ; un réflecteur de neutrons a contribué à la criticité.	[77, 111, 112]

* Données non communiquées

N°	Année	Pays	Région/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
7	1958	États-Unis	Tennessee (Oak Ridge)	Traitement de matières nucléaires	8 personnes exposées	0,69 à 3,65 Gy	N.C.	Fuite d'une vanne ayant conduit à un transvasement imprévu d'une solution d'uranium enrichi dans un fût de 55 gallons (208 litres). La géométrie dangereuse a entraîné un accident de criticité.	[113]
8	1958	États-Unis	Nouveau Mexique (Los Alamos)	Recherche nucléaire	3 personnes exposées, 1 décès	45 Gy (personne décédée) ; 1,34 et 0,53 Gy (survivants)	120 Gy à la partie supérieure du thorax	Géométrie dangereuse résultant du transvasement de solides plutonifères de 2 récipients dans un seul.	[77, 111]
9	1958	Yougoslavie	Vinca	Réacteur de puissance nulle	6 personnes exposées : 1 est décédée et 5 ont développé un SAI	2,07 à 4,36 Gy	N.C.	Défaillance du matériel de contrôle causée par une excursion nucléaire : les détecteurs n'ont pas indiqué l'augmentation du niveau de puissance parce qu'ils avaient atteint leur niveau de saturation.	[77, 111]
10	1961	États-Unis	Idaho	Réacteur de recherche	10 personnes exposées, dont 3 sont décédées : 2 ont été tuées sur le coup par une explosion de vapeur et une troisième est morte des suites de blessures à la tête	jusqu'à 3,5 Gy	N.C.	Un retrait manuel trop rapide de la barre de commande aurait entraîné une augmentation de la puissance.	[77]
11	1961	URSS	Sibérie	Traitement chimique	1 personne exposée	2 Gy	N.C.	Les dispositifs de contrôle de la criticité n'étaient pas en place lors de procédures de condensation et d'évaporation d'hexafluorure d'uranium.	[77, 111, 112]
12	1962	États-Unis	Washington (Hanford)	Traitement chimique	2 personnes exposées	0,43 à 1,1 Gy	N.C.	Géométrie dangereuse due à une mauvaise gestion de solutions.	[77, 111]

N°	Année	Pays	Région/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
13	1962	États-Unis	Richland		2 personnes exposées				[114]
14	1963	URSS	Sarov (Arzamas)	Recherche sur les armes nucléaires	2 personnes ont été exposées et ont développé un SIA	3,7 à 5,5 Gy	N.C.	Violation des procédures d'exploitation.	[77, 111]
15	1964	États-Unis	Rhode Island (Wood River Junction)	Traitement chimique	3 personnes exposées : 1 décès	Personne décédée : 100 Gy ; autres personnes : 0,6 à 1,0 Gy	N.C.	Facteurs humains : une bouteille dont l'étiquette indiquait une forte concentration d'uranium a été transvasée dans une cuve, entraînant une géométrie dangereuse.	[77, 111, 115]
16	1965	Belgique	Mol	Réacteur expérimental	1 personne exposée Exposition non uniforme du corps, amputation du pied gauche	5 Gy	3 à 40 Gy	Non-respect des règles de sûreté.	[77, 111, 116, 117]
17	1966	URSS		Réacteur expérimental	5 personnes exposées	3,0 à 7,0 Gy	-	-	[114]
18	1968	URSS	Tcheliabinsk-70	Réacteur	2 décès	20 à 40 Gy et 5 à 10 Gy	700 Gy à la main gauche chez la personne la plus exposée	Violation de la procédure : réflecteur non remis en place.	[77, 111]
19	1968	URSS	Tcheliabinsk-40	Extraction de plutonium	2 personnes exposées : 1 est décédée ; la personne survivante a développé un SIA et a dû être amputée des jambes et d'une main	Personne décédée : 24,5 Gy ; autre personne : 7 Gy	N.C.	Défaut de conception ayant conduit à une géométrie dangereuse d'une solution de plutonium.	[111, 112]

N°	Année	Pays	Région/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
20	1968	URSS		Réacteur expérimental	4 personnes exposées	1,0 à 1,5 Gy	-	-	[114]
21	1969	URSS		Réacteur expérimental	1 personne exposée	5,0 Gy	-	-	[112, 114]
22	1971	URSS	Institut Kourchtatov	Installation de recherche sur les réacteurs de puissance	4 personnes exposées : 2 sont décédées et 2 ont subi un SIA, et des effets à long terme sur leur santé	Personnes décédées : 20 et 60 Gy ; autres personnes : 8 à 9 Gy	N.C.	Défaut de construction de l'assemblage combustible : formation d'une masse largement supercritique après la chute des barres de combustible.	[77, 111, 118]
23	1971	URSS	Institut Kourchtatov	Installation de recherche sur les réacteurs de puissance	3 personnes exposées	3 Gy	20 Gy aux jambes	Violation des procédures d'exploitation : les barres de contrôle n'ont pas été actionnées lorsque de l'eau a été ajoutée dans la cuve où se trouvaient les barres de combustible.	[77, 111, 118]
24	1978	URSS	Sibérie	Traitement du plutonium	8 personnes exposées, 1 décès ; 1 personne amputée au niveau du coude, 7 autres exposées	0,05 à 2,5 Gy	70 Gy	Violation des procédures : géométrie dangereuse de lingots de plutonium ayant une taille supérieure à celle autorisée lors d'opérations d'emballage ; boîte à gants mal conçue.	[77, 111, 112]
25	1983	Argentine	Buenos Aires	Installation de criticité	1 décès	17 Gy (neutrons) et 20 Gy (rayons gamma)	N.C.	Non-respect des procédures lors de la vidange de l'eau de la cuve contenant les matières fissiles.	[77, 119]
26	1997	Fédération de Russie	Kremlev (Sarov)	Recherche sur les armes nucléaires	1 décès	45 Gy (neutrons) + 3,5 Gy (gamma)	jusqu'à 250 Gy aux mains	Criticité ; non-respect des règles de sûreté par l'opérateur.	[11, 77]
27	1999	Japon	Tokaimura	Petite usine de fabrication de combustible	3 personnes exposées : 2 décès	10 à 20 Gy, 6 à 10 Gy et 1 à 5 Gy	N.C.	Erreur humaine et modification non autorisée des procédures ne respectant pas une géométrie sûre du point de vue de la criticité.	[12, 120]

TABLEAU 4. ACCIDENTS SURVENUS DANS LE CADRE D'ACTIVITÉS NUCLÉAIRES

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
1	1951	URSS	Tcheliabinsk-40	Recherche nucléaire et retraitement	5 personnes exposées ; 1 est décédée, les autres ont subi un SIA et/ou des lésions locales	-	-	-	[117]
2	1952	URSS	Tcheliabinsk-40	Recherche nucléaire et retraitement	2 décès (contamination interne par de l'eau tritiée)	-	-	-	[117]
3	1954	URSS	Sarov (Arzamas)	Armes nucléaires	1 décès par exposition interne au ^{210}Po	-	-	-	[117]
4	1955	États-Unis	Washington (Hanford)	Activités expérimentales de traitement	1 personne exposée par incorporation de ^{239}Pu	-	-	-	[114]
5	1957	URSS	Kychym (Complexe Maiak)	Usine radiochimique	Rejet de produits radioactifs représentant 740 PBq	-	-	Surchauffe avant entraîné l'explosion d'une cuve de stockage.	[106]
6	1957	Royaume-Uni	Cumbria (Windscale)	Réacteur à graphite	Rejet de ^{131}I (740 TBq) ainsi que d'autres radionucléides	-	< 0,1 Gy à la thyroïde (enfants)	Surchauffe et incendie.	[106]
7	1975	Allemagne (RDA)		Réacteur de recherche	1 personne exposée (exposition localisée)	-	20 à 30 Gy	-	[114]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
8	1976	États-Unis	Washington (Hanford)	Activités de traitement expérimentales	1 personne exposée Traumatisme dû à l'explosion et incorporation de ²⁴¹ Am (~40 MBq)	N.C.	8,6 Gy à la moelle osseuse	Explosion chimique d'une colonne échangeuse d'ions dans une boîte à gants.	[121]
9	1977	Argentine	Atucha	Réacteur nucléaire	1 personne exposée : zone blessée exposée à 3 800 Bq, enlevée chirurgicalement au bout de 8 ans	–	364 Gy à la zone localisée pendant 8 ans	Personne travaillant sans gants de plomb.	[32, 39]
10	1979	États-Unis	Pennsylvania, (Three Mile Island)	Centrale nucléaire	Réacteur gravement endommagé ; rejet de 550 GBq de ¹³¹ I dans l'atmosphère ; aucune exposition importante	<1 mSv	–	La défaillance d'une pompe a entraîné l'arrêt de la centrale, mais une nouvelle défaillance de pompe et des indications incorrectes données par les instruments ont amené les opérateurs à prendre des mesures qui se sont traduites par un faible niveau d'eau dans le réacteur. De ce fait, les éléments combustibles ont été gravement endommagés.	[106]
11	1985	Tchécoslovaquie	Petrvald		1 personne exposée : incorporation par blessure de 600 Bq de ²⁴¹ Am	–	–	Négligence et matériel inadapté.	[32, 39]
12	1986	États-Unis	Oklahoma (Gore)	Traitement de l'uranium	1 décès par traumatisme ; des membres du personnel et 7 personnes du public ont subi une contamination interne de faible niveau	–	–	Rupture accidentelle d'un cylindre d'UF6 de 14 tonnes.	[122]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
13	1986	URSS	Ukraine (Tchernobyl)	Centrale nucléaire	237 expositions importantes ; 30 décès Destruction du réacteur. 30 décès (dont 2 par traumatisme) ; 207 autres personnes ont reçu des doses importantes. Rejet important de radionucléides dans l'environnement, dont 1 760 PBq de ^{131}I et 86 PBq de ^{137}Cs	jusqu'à 16 Gy	–	Violation des procédures de sûreté et défaut de conception ayant entraîné une explosion de vapeur, un incendie et la destruction du réacteur.	[38]
14	1993	Russie	Sibérie (Tomsok)	Retraitement	Rejet de ^{239}Pu et de produits de fission mélangés	–	–	Accumulation de gaz dans une cuve suivie d'une rupture par explosion et de l'explosion d'un nuage inflammable.	[19]

TABLEAU 5. ACCIDENTS DE TRANSPORT

N°	Année	Pays	Type de véhicule	Lieu	Nom/identifiant	Cause et conséquences	Réf.
Accidents maritimes							
1	1961	URSS	Sous-marin nucléaire	Atlantique NO	K-19	Fuite du circuit de transfert de chaleur et surchauffe du combustible ; sous-marin remorqué jusqu'à sa base.	[123]
2	1963	États-Unis	Sous-marin nucléaire	Atlantique (lieu exact non précisé)	Thresher	Cause inconnue ; sous-marin perdu en mer avec l'ensemble de son équipage. Rejet estimatif total de radioactivité < 0,04 GBq.	[123]
3	1968	URSS	Sous-marin diesel	Pacifique près d'Hawaii	K-129	Naufrage d'un sous-marin transportant deux ogives nucléaires qui ont été récupérées ultérieurement.	[123]
4	1968	États-Unis	Sous-marin nucléaire	Atlantique (lieu exact non précisé)	Scorpion	Cause inconnue ; sous-marin perdu en mer avec l'ensemble de son équipage.	[123]
5	1970	URSS	Sous-marin nucléaire	Baie de Biscaye	K-8	Incendie ; joints en caoutchouc de la coque défectueux ayant laissé entrer l'eau de mer ; naufrage au NO de l'Espagne.	[123]
6	1978	Non spécifié	Navire de surface	SE de la mer de Barents	Nikel	Barge transportant des déchets conditionnés perdue en mer lors d'une tempête.	[123]
7	1984	France	Navire de surface	Mer du Nord	Mont Louis	Collision avec un ferry-boat ; le navire, qui transportait 30 conteneurs d'UF6 enrichi à <1%, a coulé au large de Zeebrugge ; tous les conteneurs ont été récupérés.	[123]
8	1985	URSS	Sous-marin nucléaire	Baie de Tchajma	K-431	Accident de criticité (explosion) lors du rechargement en combustible ayant entraîné une contamination de l'environnement en Russie.	[123]
9	1986	URSS	Sous-marin nucléaire	Atlantique NE	K-219	Incendie et explosion ayant endommagé la coque ; remorqué à 6 000 m de profondeur et coulé (Bermudes).	[123]
10	1989	URSS	Sous-marin nucléaire	Mer de Norvège	K-278	Incendie en poupe en cours de plongée ; naufrage du sous-marin.	[123]

N°	Année	Pays	Type de véhicule	Lieu	Nom/identifiant	Cause et conséquences	Réf.
11	1989	URSS	Sous-marin nucléaire	Baie d'Ara	Élément inconnu de la Flotte du Nord	Problème inconnu ; plus fort rejet de matières radioactives signalé.	[123]
12	1997	Panama	Navire de surface	Atlantique (Açores)	MSC Carla	Implication de 3 colis de type B contenant du ¹³⁷ Cs.	[123]
13	2000	Russie	Sous-marin nucléaire	Mer de Barents	Koursk	Cause inconnue : 2 événements sismiques se sont produits le jour de l'accident : le sous-marin a fait naufrage avec 118 membres d'équipage à bord ; les réacteurs du sous-marin ont été retrouvés intacts par la suite.	[123]

Accidents aériens

14	1965	États-Unis	Aéronef	Près d'Okinawa (Japon)	Chasseur à réaction Skyhawk	L'avion, avec une arme nucléaire à son bord, est tombé du porte-avions.	[123]
15	1966	États-Unis	Aéronef	Palomares (Espagne)	Bombardier (B-52)	Collision aérienne lors du ravitaillement en carburant ; 4 armes nucléaires impliquées, dont 2 ont été récupérées intactes et 2 ont été détruites par l'impact au sol, entraînant une forte contamination continue de l'environnement par le plutonium.	[123]
16	1968	États-Unis	Aéronef	Thulé, Groenland	Bombardier (B-92)	L'avion s'est écrasé ; 4 armes nucléaires ont été détruites, entraînant la contamination par le plutonium d'une vaste zone marine.	[123]
17	1987	URSS	Aéronef	Mer d'Okhotsk	–	Accident d'hélicoptère ayant entraîné le largage d'un générateur thermoelectrique radio-isotopique doté d'une source au ⁹⁰ Sr (12,95 à 25,3 PBq) à 30 m de profondeur en mer ; la source n'a pas pu être retrouvée.	[123]
18	1997	Russie	Aéronef	Mer d'Okhotsk	–	Accident d'hélicoptère ayant entraîné la perte d'un générateur thermoelectrique radio-isotopique contenant 1,3 PBq de ⁹⁰ Sr.	[123]

N°	Année	Pays	Type de véhicule	Lieu	Nom/identifiant	Cause et conséquences	Réf.
Engins spatiaux							
19	1964	États-Unis	Vaisseau spatial	Ouest de l'océan Indien	SNAP-9A Transit-5BN3	Satellite contenant 630 TBq de ²³⁸ Pu qui n'a pas pu être placé sur orbite et s'est désintégré au-dessus de l'hémisphère Sud lors de sa rentrée dans l'atmosphère.	[123]
20	1968	États-Unis	Vaisseau spatial	Santa Barbara, Californie	Nimbus BI	Vaisseau spatial n'ayant pas atteint son orbite ; 2 générateurs thermoélectriques radio-isotopiques récupérés intacts.	[123]
21	1970	États-Unis	Vaisseau spatial	Pacifique Sud	Apollo 13	Retour d'urgence sur Terre dans le module d'alimentation en raison de la défaillance de l'alimentation en oxygène ; 1 générateur thermoélectrique radio-isotopique de bord retombé intact à une profondeur d'au moins 6 000 m dans la fosse des Tonga.	[123]
22	1978	URSS	Vaisseau spatial	Nord du Canada	Cosmos 954	Rentrée dans l'atmosphère d'un satellite de recherche équipé d'un petit réacteur nucléaire ; dissémination de fragments radioactifs sur une vaste zone.	[123]
23	1983	URSS	Vaisseau spatial	Atlantique-Sud	Cosmos 1402	Le satellite n'a pas réussi à catapulter le réacteur nucléaire sur une orbite plus haute en fin de mission ; rentrée du cœur du réacteur et de produits de fission dans l'atmosphère à l'est du Brésil.	[123]
24	1996	Russie	Vaisseau spatial	Océan Pacifique	Mars 96	Rentrée dans l'atmosphère à l'ouest du Chili en raison d'une défaillance de propulseur ; 18 générateurs thermoélectriques radio-isotopiques contenant 174 TBq de ²³⁸ Pu se trouvaient à bord	[123]

TABLEAU 6. ACCIDENTS INDUSTRIELS : SOURCES RADIOACTIVES

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
1	1968	Argentine	La Plata	Radiographie industrielle	0,5 TBq ^{137}Cs	1 personne amputée des deux jambes	0,5 Gy	17 000 Gy, maximum à la cuisse	Un travailleur a gardé une source pendant 18 heures dans sa poche.	[124]
2	1968	Inde		Radiographie industrielle	^{192}Ir	Ulcération de la peau (1 personne)	–	130 Gy maximum	Un travailleur a ramassé une source tombée de la caméra et l'a gardée dans sa poche pendant 2 heures.	[125]
3	1968	Allemagne (RFA)		Radiographie industrielle	^{192}Ir	Lésion localisée au pelvis et à la cuisse (1 personne)	1,0 Gy	40 à 60 Gy	Un travailleur a mis une source dans la poche de sa veste.	[126]
4	1969	Royaume-Uni	Écosse	Radiographie industrielle	900 GBq ^{192}Ir	1 personne : incident initial	450 mSv	2,15 Sv à la hanche	La mise en position « exposition » d'une source qui se trouvait dans un conteneur non verrouillé sur le siège du passager avant d'une voiture a entraîné l'exposition du conducteur.	[127]
5	1971	Royaume-Uni		Radiographie industrielle	185 GBq ^{192}Ir	8 mois plus tard, apparition d'une lésion importante sur la cage thoracique	0,6 Gy	20 à 200 Gy	Exposition auto-infligée.	[114]
6	1972	Chine	Sichuan	Irradiation	265 TBq ^{60}Co	3 personnes exposées	0,5 à 1,5 Gy	–	Source manipulée directement.	[128, 129]
7	1973	URSS	Région de Moscou	Irradiation	4,2 PBq ^{60}Co	1 personne a subi un SIA	4 Gy	–	Entrée accidentelle dans la chambre d'irradiation.	[32, 39]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
8	1974	États-Unis	New Jersey, Parsippany	Irradiation	4,4 PBq ⁶⁰ Co	1 personne exposée	4,1 Gy	–	La personne n'a pas utilisé de dosimètre avant d'entrer dans chambre d'irradiation.	[130]
9	1975	Italie	Brescia	Irradiation	1,33 PBq ⁶⁰ Co	1 décès	12 Gy	Doses aux organes : 12 à 24 Gy	Manque de formation et absence de systèmes de sûreté à l'entrée du convoyeur produits.	[32, 39] [116]
10	1975	URSS	Kazan	Installation d'irradiation industrielle	0,7 PBq ⁶⁰ Co	SIA et lésions aux mains (2 personnes)	3 à 5 Gy	30 à 50 Gy aux mains	Très semblable à l'accident de San Salvador en 1989.	[32, 39]
11	1976	États-Unis	Pennsylvanie (Pittsburgh)	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	Lésion à la main (1 personne)	–	10 ou 15 Gy	–	[32, 39]
12	1977	Tchécoslovaquie	Pardubice	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	Lésion localisée à la main (1 personne)	5 mGy	–	Défaillance technique du matériel. Interventions inappropriées pour reprendre la maîtrise de la source.	[32, 39]
13	1977	États-Unis	New Jersey (Rockaway)	Irradiation	18,5 PBq ⁶⁰ Co	1 personne exposée	2 Gy	–	Réalisation de travaux dans l'installation, absence de mesures de sûreté et défaillance du système de verrouillage.	[130]
14	1977	Royaume-Uni		Radiographie industrielle	815 GBq ¹⁹² Ir	Lésions localisées aux extrémités de 3 doigts (1 personne)	< 0,1 Gy	–	Un opérateur travaillant dans un espace confiné a tenu dans la main une source pendant 90 secondes pendant qu'il radiographiait une soudure.	[32, 39]
15	1977	Hongrie	Győr	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	1 personne exposée, mal des rayons modéré	1,2 Gy	–	La source n'a pas pu être retirée de son conteneur en raison d'une défaillance du matériel.	[32, 39, 131]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Ref.
16	1977	Royaume-Uni		Production de sources lumineuses au tritium	Rejet de 11 à 15 TBq de ^3H non scellé	2 personnes exposées, contamination interne	0,62 Gy et 0,64 Gy	-	Rejet de tritium dû à la rupture d'un collecteur d'entrée.	[32, 39]
17	1977	Afrique du Sud	Transvaal (Sasolburg)	Radiographie industrielle	260 GBq ^{192}Ir	Amputation de 2 doigts, extraction d'une côte (1 personne)	1,16 Gy	100 Gy	Dysfonctionnement du conteneur à commande pneumatique et du moniteur ; négligence de l'opérateur.	[32, 39]
18	1977	Pérou	Zona del Oleoducto	Radiographie industrielle	^{192}Ir	Effets localisés aux mains (3 personnes), amputation de doigts (2 personnes)	2 Gy maximum	160 Gy maximum	Personnel non formé et absence de supervision ; matériel non enregistré et non autorisé.	[32, 39]
19	1978	Argentine	Buenos Aires	Radiographie industrielle	^{192}Ir	Lésion localisée à la main (1 personne)	-	12 à 16 Gy	Manipulation manuelle de sources.	[32, 39]
20	1978	États-Unis	Louisiane (Monroe)	Radiographie industrielle	3,7 TBq ^{192}Ir	Amputation d'un doigt (1 personne)	< 0,1 Gy	-	Sélection d'une plage de doses incorrecte sur un débitmètre de dose pour vérifier le retour de la source en position sûre.	[132]
21	1979	Tchécoslovaquie	Sokolov	Radiographie industrielle	^{192}Ir	Lésion localisée à la main (1 personne)	5 mGy	-	Défaillance technique du matériel et défaut de surveillance pendant et après le travail.	[32, 39]
22	1980	URSS, Russie	Leningrad	Irradiation	22,2 PBq ^{60}Co	1 décès	> 12 Gy	-	Défaillance du dispositif de sûreté, entrée intempestive.	[118]
23	1980	Russie	Ioujno-Sakhalinsk	Radiographie industrielle	25 Ci ^{192}Ir	1 personne décédée et 1 autre exposée	-	> 15 Gy à l'abdomen (enfant)	Source orpheline, un enfant est décédé.	[118]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
24	1980	Chine	Shanghai	Irradiation	1,96 PBq ⁶⁰ Co	SIA et exposition localisée (1 personne)	5,2 Gy	-	Entrée pendant une coupure d'électricité dans une chambre d'irradiation au dispositif de verrouillage défectueux.	[32, 39, 133]
25	1980	URSS	Smolensk	Radiographie industrielle	25 Ci ¹⁹² Ir	Lésion localisée (1 personne)	< 0,5 Gy	30 Gy à la cuisse, 12 Gy à la main	Défaillance de l'appareil de radiographie.	[32, 39]
26	1981	Argentine	Buenos Aires	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	Lésion localisée à la main (2 personnes)	-	-	Source détachée et coincée dans la gaine de transfert.	[32, 39]
27	1982	Norvège	Kjeller	Irradiation	2,43 PBq ⁶⁰ Co	1 décès	22 Gy	-	Défaillance du dispositif de sûreté et non-respect des procédures.	[40, 41]
28	1982	URSS, Azerbaïdjan	Bakou	Sources militaires usées	50 Ci ¹³⁷ Cs	5 personnes décédées et 22 autres exposées	< 0,5 Gy - > 10 Gy	20 à 50 Gy aux mains, 150 à 500 Gy à la cuisse	Mauvais entreposage des sources.	[118]
29	1982	Indonésie	Badak, est de Bornéo	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	1 personne exposée	0,77 Gy	0,64 Gy aux gonades, 11,7 Gy aux mains	Réparation de la source par l'opérateur.	[32, 39]
30	1982	Inde	Vikhroli, Bombay	Inconnu	¹⁹² Ir	1 personne exposée	0,4 à 0,6 Gy	1,535 Gy à l'aîne	Défaillance du dispositif de sûreté et perte de la source pendant le transport ; celle-ci a été trouvée par un cheminot	[32, 39]
31	1983	Royaume-Uni	-	Radiographie industrielle	-	1 personne exposée	0,56 Gy	-	Exposition par inadvertance de l'opérateur.	[32, 39]
32	1983	Allemagne	Schwarze Pumpe	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	Effet localisé à la main (1 personne)	-	5 Gy	Problème technique et erreur de manipulation.	[32, 39]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Ref.
33	1983	Inde	Muland, Bombay	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	1 personne amputée de 4 doigts	0,6 Gy	20 Gy ?	Utilisation par du personnel non formé.	[32, 39]
34	1984	Hongrie	Tiszafured	Radiographie industrielle	1, 11 TBq ¹⁹² Ir	Efîet localisé sur 3 doigts de la main gauche (1 personne)	46 mGy	20 à 30 Gy	Défaillance du matériel et manipulation imprudente de la source.	[32, 39]
35	1984	Argentine	Mendoza	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	Efîet localisé aux doigts (1 personne)	0,11 Gy	18 Gy	L'opérateur a poussé la source dans la caméra avec le doigt.	[32, 39]
36	1985	Inde	Yamunanager	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	2 personnes amputées de 2 doigts chacune	–	8 à 20 Gy	Non-respect de pratiques professionnelles sûres lors d'une panne d'électricité sur le lieu de travail.	[32, 39]
37	1985	Inde	Visakhapatnam	Radiographie industrielle	⁶⁰ Co	2 personnes exposées, dont 1 a été amputée d'un doigt	0,18 Gy	10 à 20 Gy	Non-respect de pratiques professionnelles sûres et défaut d'entretien.	[32, 39]
38	1986	Chine	Ho-nan	Irradiation	0,3 PBq ⁶⁰ Co	2 personnes exposées	2,6 et 3,5 Gy	–	Retrait manuel de la source lors d'une panne d'électricité ; des travailleurs sont entrés dans la pièce alors que la source n'était pas protégée.	[32, 39, 128, 134]
39	1986	Chine	Beijing	Irradiation	0,2 PBq ⁶⁰ Co	2 personnes exposées	0,7 à 0,8 Gy	–	Des travailleurs sont entrés dans la chambre d'irradiation alors que la source n'était pas protégée ; défaillance du système de commande ; porte ouverte.	[32, 39, 128, 135]
40	1987	Chine	Zhengzhou	Irradiation	3,29 PBq ⁶⁰ Co	1 personne exposée	1,35 Gy	–	Exposition accidentelle pendant 1,5 à 2 minutes.	[133]
41	1988	Chine	Liaoning	Radiographie industrielle	1,1 TBq ¹⁹² Ir	Exposition localisée (6 personnes)	–	0,1 à 12,6 Gy	Des travailleurs ont directement manipulé une source en la retirant d'un appareil défectueux.	[128, 136]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Ref.
42	1988	Tchécoslovaquie	Prague	Production de film ²⁴¹ Am	²⁴¹ Am, non scellé	Incorporation par inhalation (1 personne)	(supérieure à 50 kBq)	-	Nouvelles méthodes de laminage non testées ; mauvaises pratiques de radioprotection.	[32, 39]
43	1988	Chine	Zhao Xian	Irradiation	⁶⁰ Co	1 personne exposée	5,2 Gy	-	La personne est entrée par erreur dans la chambre d'irradiation et y est restée environ 40 secondes.	[32, 39]
44	1989	Inde	Hazira Gujarat	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	1 personne exposée, doigts amputés	0,65 Gy	10 Gy	Mauvaise gestion de la sûreté et défaut de maintenance.	[32, 39]
45	1989	Afrique du Sud	Transvaal (Witbank)	Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	3 personnes exposées, dont 1 a été amputée d'une jambe et de doigts	0,09 à 0,78 Gy	-	Détachement de la source ; négligence de l'opérateur (source mal fixée) ; source détachée non détectée par le débitmètre portable.	[32, 39]
46	1989	Chine		Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	Dose localisée (1 personne)	-	18,37 Gy	-	[32, 39]
47	1989	Bangladesh		Radiographie industrielle	¹⁹² Ir	1 personne exposée	2,3 Gy	-	-	[32, 39]
48	1989	Chine	Beijing		⁶⁰ Co	2 personnes exposées	0,61 et 0,87 Gy	-	Exposition accidentelle à la source pendant 4 minutes environ.	[32, 39]
49	1989	El Salvador	San Salvador	Irradiation	0,66 PBq ⁶⁰ Co	1 personne est décédée ; 2 autres ont été exposées et ont dû être amputées	2,9 à 8,1 Gy	> 30 Gy	Manque de formation et détérioration grave des systèmes de sûreté faute d'entretien pendant une longue période.	[14]
50	1990	Afrique du Sud	Transvaal (Sasolburg)	Radiographie industrielle	⁶⁰ Co	6 personnes exposées, dont 3 ont subi des lésions	0,55 Gy	-	Source laissée sur place après utilisation ; perte passée inaperçue faute de surveillance appropriée ; manipulation de la source par	[32, 39]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
						localisées et 1 a dû être amputée d'une main		6 personnes.		
51	1990	Chine	Shanghai	Irradiation	850 TBq ^{60}Co	2 personnes décédées et 5 autres exposées	2,0 à 12 Gy	–	Entrée sans débitmètre de dose pendant une panne d'électricité dans une chambre d'irradiation au système de verrouillage défectueux.	[128, 137]
52	1990	Israël	Soreq	Irradiation	12,6 PBq ^{60}Co	1 décès	10 à 20 Gy	–	Entrée intempestive et défaut de maintenance.	[15]
53	1991	Bélarus	Nesvich	Irradiation	30 PBq ^{60}Co	1 décès	11 à 18 Gy	–	Entrée intempestive alors que la source était en position d'exposition.	[16]
54	1992	Royaume-Uni	Écosse	Radiographie industrielle	Diverses sources scellées (contenu probable : ^{192}Ir pour la plupart)	Exposition chronique localisée et du corps entier (1 personne)	10 Gy	100 Gy	Séries d'incidents chroniques et mauvaises pratiques pendant 14 ans.	[32, 39, 138]
55	1992	Chine	Wuhan	Irradiation	^{60}Co	4 personnes exposées	–	–	Perte de réseau et verrous de sûreté inopérants.	[128]
56	1992	Hongrie	Budapest	Irradiation industrielle	5,4 PBq ^{60}Co	Aucun blessé	1 à 2 mSv (personnes ayant participé aux secours)	–	Mauvais fonctionnement du dispositif de commande.	[131]
57	1992	Suisse		Radiographie industrielle	700 GBq ^{192}Ir	Exposition localisée (1 personne)	–	3,5 à 10 Gy	Source bloquée, retirée manuellement.	[32, 39]
58	1993	Royaume-Uni		Radiographie industrielle	700 GBq ^{192}Ir	Exposition localisée	< 0,1 Gy	10 Gy	Procédures inappropriées, manipulation d'une source bloquée.	[32, 39]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
59	1998	Chine	Harbin	Irradiation	-	à la main (1 personne) 1 personne exposée	-	-	Défaillance du matériel de sûreté.	[128]
60	1998	Japon	Nagasaki	Radiographie industrielle	120 GBq ⁶⁰ Co	1 travailleur exposé (main droite et corps entier)	5,5 mSv	43 Sv	Erreur lors du retrait de la source, laquelle a été directement manipulée pendant 30 à 60 secondes.	[139]
61	1999	Pérou	Yanango, San Ramón Junin	Radiographie industrielle	1 370 GBq ¹⁹² Ir	2 personnes exposées, lésions à une jambe, aux mains et au dos	0,4 à 0,8 Sv	0,5 - > 100 Gy	Un travailleur a ramassé une source qui était tombée d'une caméra et l'a gardée dans sa poche pendant 6 heures.	[22]
62	1999	Hongrie	Paks	Source de radiographie perdue	70 GBq ¹⁹² Ir	Aucun blessé	0,1 à 6 mSv (12 personnes)	N.C.	Mauvais fonctionnement de l'appareil.	[131]
63	1999	Hongrie	Százhalombatta	Radiographie industrielle	300 GBq ¹⁹² Ir	3 personnes exposées, aucun blessé	0,6 à 2,7 mSv	N.C.	Démontage incorrect d'une source de radiographie.	[131]
64	2000	Brésil	Rio de Janeiro	Radiographie industrielle	⁶⁰ Co	1 personne exposée ; lésions aux mains	-	-	Exposition pendant l'entretien normal.	[140]
65	2001	Hongrie	Dunaujváros	Radiographie industrielle	800 GBq ¹⁹² Ir	Aucun blessé	10 à 300 µSv (équipe de secours)	N.C.	Source bloquée ; dispositif réparé ultérieurement conformément aux procédures.	[131]
66	2004	Chine	Shandong Jining	Irradiation	38 kCi, ⁶⁰ Co	2 décès	20,0 Gy et 8,8 Gy	-	Des travailleurs sont entrés dans la chambre d'irradiation alors que la source n'était pas protégée en raison d'une panne d'électricité.	[141, 142]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Ref.
67	2005	Chili	Concepción/ Nueva Aldea	Gamma-graphie	3,33 TBq ¹⁹² Ir (90 Ci)	Lésion à la fesse gauche (1 travailleur) ; lésion à la main droite (1 travailleur) ; lésion au pied droit (1 travailleur)	0,54 à 1,03 Gy 0 à 0,42 Gy < DL	-	Non-respect des prescriptions réglementaires et des règles de sûreté.	[143]
68	2006	Belgique	Fleurus	Irradiation	312 TBq ⁶⁰ Co	1 personne exposée	4,4 à 4,8 Gy	-	Mauvais fonctionnement d'un système hydraulique de contrôle-commande et défaillance du système de sûreté.	[144]

TABLEAU 7. ACCIDENTS INDUSTRIELS : ACCÉLÉRATEURS ET DISPOSITIFS À RAYONS X

N°	Année	Pays	Province/ ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
1	1960	États-Unis	New York (Lockport)	Irradiation	Klystron	Expositions non uniformes : 2 personnes gravement atteintes et 5 autres moins gravement	–	jusqu'à 12 Gy	Le blindage n'était pas en place pendant la maintenance/réparation.	[145]
2	1965	États-Unis	Illinois (Rockford)	Irradiation	Accélérateur d'électrons (10 MeV)	Amputations (1 personne)	0,05 Gy	290 Gy à la cheville, 420 Gy à la main	–	[146, 147]
3	1967	États-Unis	Pennsylvanie (Pittsburg)	Irradiation	Accélérateur linéaire	SIA (3 personnes, dont 1 a subi des amputations multiples)	6, 3 et 1 Gy	27 à 59 Gy	Défaillance du système de verrouillage de sûreté.	[146, 148]
4	1974	États-Unis	Illinois	Analyse	Spectromètre	Exposition localisée (3 personnes)	–	2,4 à 48 Gy	–	[114]
5	1975	Allemagne		Analyse	Appareil à fluorescence X	Érythème aux doigts (1 personne)	–	30 Gy	Négligence et erreurs techniques lors d'une réparation.	[32, 39]
6	1975	Allemagne		Radiographie industrielle	Matériel de radiographie	1 personne exposée	–	2 Gy au thorax	Négligence et défaillances techniques.	[32, 39]
7	1976	Allemagne		–	Matériel de radiographie	Érythème (1 personne)	1 Gy	–	Manipulation du matériel par une personne inexpérimentée.	[32, 39]
8	1977	Argentine	La Plata	Cristallographie	Matériel de radiographie	Lésions aux doigts (1 personne)	–	10 Gy	Retrait de l'obturateur du dispositif de cristallographie.	[32, 39]

N°	Année	Pays	Province/ ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
9	1979	Allemagne	Freiberg	Analyse	Appareil à fluorescence X	1 personne exposée	0,2 à 0,5 Gy	10 à 30 Gy à la main droite	Non-respect de pratiques de travail sûres.	[32, 39]
10	1980	Allemagne	Bohlen	Analyse	Appareil d'analyse par rayons X	Exposition localisée (1 personne)	–	15 à 30 Gy à la main gauche	Non-respect de pratiques de travail sûres.	[32, 39]
11	1980	Allemagne		–	Appareil «Radiogram»	1 personne exposée	0,2 Gy	23 Gy à la main	Matériel défectueux.	[32, 39]
12	1981	Allemagne		Analyse	Appareil à fluorescence X	Lésion localisée (1 personne)	–	20 à 30 Gy au pouce gauche	Non-respect de pratiques de travail sûres.	[32, 39]
13	1983	Allemagne		–	Matériel de radiographie	Exposition partielle du corps (1 personne)	–	6 à 12 Gy	Matériel défectueux.	[32, 39]
14	1985	Chine	Shanghai	Irradiation	Accélérateur	Lésion localisée (1 personne)	–	25 à 210 Gy	La personne est entrée dans la zone d'irradiation alors que le moteur principal était en marche.	[128, 149]
15	1987	Indonésie	Cirebon, ouest de Java	Radiographie industrielle	Machine à rayons X	1 personne exposée à la main	–	10 Gy	Réparation de l'obturateur alors que la machine fonctionnait.	[32, 39]
16	1991	États-Unis	Maryland (Baltimore)	Irradiation	Accélérateur	Amputation de la plupart des doigts (1 personne)	–	55 Gy	Exposition au courant d'obscurité pendant la maintenance.	[150]

N°	Année	Pays	Province/ ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
17	1991	France	Forbach	Irradiation	Accélérateur	Graves lésions cutanées localisée (1 personne) ; 2 autres personnes moins gravement atteintes	< 1 Gy	40 Gy	Exposition au courant d'obscurité de l'accélérateur.	[32, 39]
18	1992	Italie		Analyse	Spectromètre à rayons X	Lésions aux doigts et aux mains (1 personne)	-	environ 20 Gy	Mauvaise procédure de maintenance.	[151]
19	1993	Royaume-Uni		Radiographie	Appareil de radiographie de 160 kV	Lésions aux doigts d'une main (1 personne)	-	60 Gy	Procédures inappropriées et défaillance des systèmes d'alerte.	[152]
20	1994	Mexique	Lazarus Cardenas	Analyse	Spectromètre à rayons X	Lésion à un doigt (1 personne)	-	-	Dispositif non mis hors tension avant la réparation.	[153]
21	1995	Brésil		Analyse	Dispositif d'analyse par diffraction des rayons X	Lésion à la main (1 personne)	-	-	Fenêtre arrière du dispositif ouverte en raison d'un manque de maintenance.	[154]
22	1999	États-Unis		Irradiation	Dispositif à faisceau d'électrons	Lésion à la main (1 personne)	-	50 Gy	Exposition de la main de l'opérateur au faisceau résiduel lors d'essais de fabrication (exposition chronique pendant plus d'un mois).	[155]
23	2000	Japon	Yokaichiba	Irradiation	Machine à rayons X	Lésion à la main (3 personnes)	-	50 à 100 Gy	Dispositif de sûreté volontairement déverrouillé par le personnel.	[156]

N°	Année	Pays	Province/ ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
24	2001	Chine	Leshan	Détecteur	Détecteur de défauts à rayons X	2 personnes exposées (exposition du corps entier/locale)	-	50 mGy aux gonades et 0,045 mGy à l'abdomen	Utilisation du détecteur de défauts alors que des ouvriers étaient présents.	[157]

TABLEAU 8. ACCIDENTS DE RECHERCHE : SOURCES RADIOACTIVES

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
1	1960	États-Unis	Madison	Irradiation d'échantillons	7 TBq ^{60}Co	1 étudiant exposé	2,5 à 3 Gy	30 Gy	Détachement de la source pendant l'irradiation d'échantillons.	[158]
2	1962	URSS	Moscou	Irradiation	1,9 PBq ^{60}Co	1 personne exposée	2,5 à 3 Gy	12 Gy	Non-respect de pratiques de travail sûres, entrée intempestive dans la chambre d'irradiation.	[159]
3	1971	États-Unis	Tennessee	Irradiation	285 TBq ^{60}Co	1 chercheur exposé	1,3 Gy	12 Gy à la main	Mauvais fonctionnement du matériel et fausse manœuvre.	[160]
4	1978	Suède	Nyköping	–	Réacteur de recherche	Lésion localisée à la main (1 personne)	–	30 Gy	Non-respect des consignes de travail.	[32, 39]
5	1979	Allemagne	Rosendorf	Activation neutronique	Réacteur de recherche	Lésion localisée à la main (1 personne)	–	20 à 30 Gy à la main droite	Sous-estimation du niveau d'activation.	[32, 39]
6	1980	Allemagne	Rosendorf	Laboratoire de radiochimie	Source non scellée ^{32}P	Contamination de la main (1 personne)	–	100 Gy	Contamination due à un défaut du gant de protection.	[32, 39]
7	1983	Allemagne	Leipzig	Laboratoire de radiochimie	^{241}Am , non scellé	Incorporation (1 personne)	0,076 Gy	–	Explosion d'un flacon contenant une solution de ^{241}Am .	[32, 39]

TABLEAU 9. ACCIDENTS DE RECHERCHE : ACCÉLÉRATEURS ET DISPOSITIFS À RAYONS X

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Ref.
1	1972	Royaume-Uni		Analyse par rayons X	Cristallographie par rayons X	Lésions localisées à 2 doigts (1 personne)	-	15 à 20 Gy	Obtuteur retiré avant et pendant l'entretien.	[161]
2	1975	Allemagne		Analyse par rayons X	Appareil à fluorescence X	Lésions localisées aux doigts (1 personne)	-	-	Non-respect de pratiques de travail sûres.	[32, 39]
3	1977	États-Unis	Californie (Berkeley)	Irradiation d'échantillons	Rayons X de 30 kV	Exposition localisée : amputation de 2 doigts d'une main et d'un doigt de l'autre (1 personne)	-	70 Gy à la main	Défaillance du verrouillage de sûreté.	[32, 39]
4	1977	URSS	Kiev	Recherche	Accélérateur de protons de 40 MeV	Lésion localisée à la main (1 personne)	< 0,5 Gy	12 à 30 Gy aux mains	Non-respect des règles de sûreté.	[32, 39]
5	1978	URSS	Leningrad	Recherche	Accélérateur d'électrons	1 personne a subi une lésion à la main, 1 autre au thorax	0,5 à 1,2 Gy	30 Gy à la main > 20 au thorax	Non-respect des règles de sûreté.	[32, 39]
6	1978	URSS	Protvino	Recherche	Accélérateur de protons de 70 GeV ayant un faisceau de seulement 1 mm de diamètre	-	-	N'a pas pu être mesurée	Erreur des opérateurs.	[159]
7	1981	Allemagne	Berlin	Analyse par rayons X	-	Lésion localisée à la main gauche (1 personne)	-	5 Gy	Non-respect de pratiques de travail sûres.	[32, 39]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Ref.
8	1982	Allemagne	Berlin	Analyse par rayons X	-	Lésion localisée à un doigt (1 personne)	-	6 à 18 Gy	Non-respect de pratiques de travail sûres.	[32, 39]
9	1984	Pérou	Lima	Analyse par rayons X	Matériel d'analyse par diffraction des rayons X	Lésions aux doigts (6 personnes)	-	5 à 40 Gy	Défaut de supervision, exposition délibérée par méconnaissance du risque ; matériel non enregistré auprès des autorités.	[32, 39]
10	1988	Allemagne	Trustetal	Analyse par rayons X	-	Lésions aux mains (2 personnes)	-	4 Gy	Défaillance technique.	[32, 39]
11	1988	Allemagne	Iéna	Analyse par rayons X	-	Lésion localisée à la main (1 personne)	-	3 Gy	Non-respect de pratiques de travail sûres.	[32, 39]
12	1992	Vietnam	Hanoi	Irradiation d'échantillons	Accélérateur de recherche (15 MeV)	Lésions localisées aux doigts (1 personne) et amputation d'une main (1 personne)	1 à 2 Gy	10 à 50 Gy	Défaut de conception et entrée intempestive pour repositionner l'échantillon dans le faisceau.	[17]
13	1994	États-Unis	Californie (Davis)	Analyse par rayons X	Matériel d'analyse par diffraction des rayons X (45 kV)	Lésions localisées aux mains (1 personne)	-	-	Contournement du verrouillage de sûreté pour effectuer une réparation.	[162]

TABLEAU 10. ACCIDENTS DUS À DES SOURCES RADIOACTIVES ORPHELINES

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
1	1960	URSS	Moscou	Radiographie industrielle	7,5 TBq ¹³⁷ Cs	1 décès	14,8 Gy	1 650 Gy	Une personne a placé la source sur la lanière de son pantalon et l'a fait tourner autour de son corps pendant plus de 15 heures – suicide.	[32]
2	1962	Mexique	Mexico	Radiographie industrielle	0,2 TBq ⁶⁰ Co	Décès de la mère, de 2 enfants et de la grand-mère. Le père (dose la plus forte mais fractionnée sur 4 mois du fait de son absence pendant le travail) a survécu	28 à 120 Gy	–	Une source non protégée avait été abandonnée dans la cour d'une maison. Un enfant l'a emportée à son domicile où elle restée pendant 4 mois.	[44]
3	1963	Chine	Sanli'an (Hefei)	Recherche agronomique	0,43 TBq ⁶⁰ Co	Décès d'un agriculteur et de son frère ; 4 autres personnes fortement exposées	2 à 80 Gy	–	Une source abandonnée a été apportée au domicile de l'agriculteur où elle restée pendant 10 jours.	[128, 134, 163]
4	1971	Japon	Ichihara, Chiba	Radiographie industrielle	194 GBq ¹⁹² Ir	6 personnes exposées, 3 ont subi un SIA et des lésions locales	0,15 à 1,5 Gy	jusqu'à 90 Gy	Non confirmation du retrait de la source et câble débranché, entraînant la chute de la source sur le sol dans un chantier naval. Source ramassée par un ouvrier.	[164]
5	1973	Mexique	Tula, Hgo		¹³⁷ Cs	1 personne amputée de la jambe gauche	–	1 400 Gy	Une personne a ramassé et mis dans sa poche une source qui était tombée de son conteneur dans un camion (« bouchon » en bois éjecté par les secousses).	[165]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
6	1977	Afrique du Sud	Pretoria	Radiographie industrielle	260 GBq ¹⁹² Ir	Lésions aux mains et au thorax (1 personne) ; 5 autres personnes également exposées	1,1 Gy	50 à 100 Gy	La source s'est détachée du câble enrouleur. La personne l'a ramassée sur le sol de l'usine et l'a emportée chez elle.	[166]
7	1978	Chine	Ho-nan		54 GBq ¹³⁷ Cs	29 personnes exposées	0,01 à 0,53 Gy	–	Source inutilisée apportée au domicile d'un ouvrier.	[32, 39, 128, 167]
8	1978	Algérie	Sétif	Radiographie industrielle	925 GBq ¹⁹² Ir	1 décès ; 6 autres personnes gravement exposées	–	–	La source est tombée d'un camion et a été ramassée par 2 garçons qui l'ont emportée à leur domicile.	[45, 168]
9	1979	États-Unis	Californie (Los Angeles)	Radiographie industrielle	1,0 TBq ¹⁹² Ir	Lésion à la fesse gauche (1 personne) ; lésions cutanées mineures (4 autres personnes)	0,75 à 1 Gy	800 à 4000 Gy (personne la plus exposée)	L'opérateur n'ayant pas vérifié que la source était correctement entreposée, celle-ci est tombée et a été ramassée par un ouvrier.	[169]
10	1982	Chine	Hanzhong		1,0 TBq ⁶⁰ Co	–	0,42 à 3 Gy	–	Vol de la source.	[128, 170, 171]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
11	1983	Mexique	Ciudad Juarez	Radiothérapie	Source au ⁶⁰ Co de 16,6 TBq constituée d'environ 6 000 pastilles d'une activité de 2,77 GBq chacune	10 personnes exposées. Un certain nombre de pastilles, intactes ou incorporées par fusion à des produits métalliques, ont causé une exposition chronique d'un nombre important de personnes du public mais pas d'effets aigus	0,25 à 5,0 Sv (10 personnes les plus exposées)	-	Entreposage à long terme du dispositif dans un lieu non sécurisé d'où il a été retiré illégalement pour être vendu comme métal de récupération. La source a été fracturée, certaines pastilles ont été dispersées dans l'espace public, le reste a été fondu.	[92, 172]
12	1984	Maroc	Casablanca	Radiographie industrielle	0,6 TBq ¹⁹² Ir	Expositions prolongées causant la mort de 4 adultes et 4 enfants	-	-	Source débranchée ; absence de surveillance. Trouvée par des personnes du public qui l'ont apportée chez elles et gardée dans la chambre à coucher familiale, où elle a été découverte au bout de 80 jours.	[46, 173]
13	1985	Chine	Mudanjiang		370 GBq ¹³⁷ Cs	Expositions prolongées subies par 3 personnes, dont 1 est décédée	8 à 10 Gy	-	La source a été trouvée et apportée au domicile, où elle restée pendant 150 jours.	[133, 174]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
14	1987	Brésil	Goiânia	Radiothérapie	50,9 TBq ^{137}Cs (capsule contenant du chlorure de césium soluble)	129 personnes exposées, dont 4 sont décédées ; 21 ont reçu des doses (incorporation ou exposition externe) > 1 Gy, 19 ont subi des lésions cutanées et 129 une incorporation d'activité (4 GBq pour les plus touchées, dont 1 est décédée)	jusqu'à 7 Gy		Démontage d'un dispositif abandonné contenant une source au césium.	[13, 175]
15	1988	Chine		Radiographie	220 GBq ^{192}Ir	1 personne exposée	0,5 à 1 Gy	–	La source est tombée sur le sol ; un ouvrier l'a ramassée et l'a gardée à son domicile pendant 50 heures environ.	[176]
16	1988–1992	URSS	Ukraine		2,6 TBq ^{137}Cs	2 enfants qui dormaient dans la chambre à coucher sont décédés	–	–	Source incrustée dans le mur de la chambre à coucher.	[46]
17	1992	Chine	Xin Zhou	Irradiation	400 GBq ^{60}Co	3 personnes décédées et 11 autres fortement exposées	> 8 Gy (personnes décédées)	–	Source laissée dans un irradiateur inutilisé. Un agriculteur qui travaillait sur le site de démolition de l'installation l'a récupérée ; il l'avait sur lui lorsqu'il est allé à l'hôpital.	[128, 177]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
18	1993–1998	Turquie	Istanbul	Radiothérapie	3,3 TBq ⁶⁰ Co	SIA chez 18 personnes, lésions à la main chez 1 personne	3 Gy	10 à 20 Gy	Des conteneurs porte-sources, entreposés depuis longtemps sans précautions de sécurité, ont été vendus comme métal de récupération et démantelés.	[21]
19	1994	Estonie	Tammiku	Irradiation	1,6 TBq ¹³⁷ Cs : partie d'irradiateur	6 personnes exposées, dont 1 est décédée et 2 ont subi des lésions localisées	4 Gy	1 800 Gy	Une source qui avait été trouvée parmi des métaux de récupération puis entreposée sans précautions de sécurité a été volée et emportée dans une maison.	[18]
20	1994	Géorgie		Radiothérapie		1 décès	–	–	Source de radiothérapie abandonnée.	[178]
21	1995	Russie	Moscou		48 GBq ¹³⁷ Cs	1 décès (exposition chronique)	7,9 Gy	65 Gy	Source gardée dans le vide-poches de porte d'un camion pendant environ 5 mois.	[179, 180]
22	1995	France		Radiographie	1 TBq ¹⁹² Ir	Lésion localisée (1 personne)	–	> 30 Gy	Manipulation directe de la source.	[32, 39]
23	1996	Iran	Gilan	Radiographie industrielle	185 GBq ¹⁹² Ir	SIA et lésion localisée au thorax (1 personne)	4,5 Gy	40 Gy	Le conteneur étant mal verrouillé, la source est tombée ; du fait de l'absence de surveillance et de la déficience des procédures, la source a été trouvée et ramassée par un ouvrier.	[26]
24	1996–1997	Géorgie	Lilo	Entraînement militaire	Diverses sources, principalement au ¹³⁷ Cs, 0,01 à 164 GBq	Exposition chronique de 11 personnes sur diverses périodes, lésions locales et quelques effets systémiques	4,5 Gy	10 à 30 Gy	Sources abandonnées dans un centre de d'entraînement militaire.	[23]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
25	1999	Chine	Ho-nan	Source de radiothérapie hors service	101 TBq ^{60}Co	7 personnes exposées	1 à 6 Gy	Jusqu'à 20 Gy	Source découverte au domicile d'un agriculteur.	[181]
26	2000	Thaïlande	Samut Prakarn	Radiothérapie	15,7 TBq ^{60}Co	3 personnes décédées et 7 autres fortement exposées (5 de ces 10 personnes ont également présenté des lésions localisées)	> 6 Gy (personnes décédées) 1 à 6 Gy (autres personnes)	–	3 appareils de radiothérapie anciens abandonnés sur une aire de stationnement non sécurisée. Le conteneur porte-source de l'un d'entre eux a été emporté sur un chantier de récupération de métaux et démantelé.	[25]
27	2000	Égypte	Meet Halfa	Radiographie industrielle	1,85 TBq ^{192}Ir	Un père et son fils sont décédés, 5 autres personnes exposées	5 à 8 Gy (personnes décédées) 3 à 4 Gy (autres personnes)	–	Une source qui avait été perdue lors du contrôle de soudures sur des canalisations a été trouvée par un agriculteur qui l'a apportée à son domicile.	[182, 183]
28	2000	Russie	Oblast de Samara	Radiographie industrielle	9 TBq ^{192}Ir	3 opérateurs exposés, 1 a subi une lésion à la main	1 à 3 Gy	30 à 70 Gy	Procédures déficientes, absence de batteries dans des débitmètres de dose et formation insuffisante des opérateurs aux règles de sûreté.	[184]
29	2000	Chine	Ho-nan		^{60}Co	1 personne exposée	1,44 Gy	–		[185]
30	2000	Chine	Ho-nan		Gamma (exposition interne)	1 personne exposée	0,15 Gy	–		[185]
31	2000	Japon	Wakayama	Inconnue	230 MBq (^{137}Cs) ; source de neutrons Am-Be (1,8 GBq)	Aucun blessé	–	–	Deux sources de rayonnements trouvées dans un conteneur de métaux de récupération importés des Philippines.	[156]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Description de la source	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
32	2000	Japon	Hyogo	Traitement médical	Aiguilles de radium	Aucun blessé	–	–	Quatre aiguilles de radium trouvées dans un conteneur de métaux de récupération.	[156]
33	2000	Japon	Okayama		Uranium appauvri	Aucun blessé	–	–	Uranium appauvri trouvé sur un chantier de récupération de métaux.	[156]
34	2000	Japon	Kawasaki		1 MBq et 3 MBq, radium	Aucun blessé	–	–	Source trouvée sur un chantier de récupération de métaux.	[156]
35	2001	Japon	Shinnanyo		5,5 GBq, ¹³⁷ Cs	Aucun blessé	–	–	Source trouvée sur un chantier de récupération de métaux dans un conteneur importé de Taïwan.	[156]
36	2001	Géorgie	Lia	Générateur thermoélectrique radioisotopique	2,6 PBq Sr-90	3 personnes exposées : 2 ont subi de graves lésions localisées	1 à 4 Gy	20 Gy	Des bûcherons ont découvert des objets dégageant de la chaleur (2 sources abandonnées) et les ont utilisés comme radiateurs.	[186]
37	2002	Chine	Sud de la Chine		¹⁹² Ir	Plus de 70 blessés	–	–	Une personne en a blessé d'autres volontairement.	[187]

TABLEAU 11. ACCIDENTS MÉDICAUX

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
1	1967	Inde		Cobaltothérapie	1 ouvrier blessé à la main	–	80 Gy	Source active pendant le transfert.	[188]
2	1968	États-Unis	Wisconsin	Médecine nucléaire, ¹⁹⁸ Au	1 patient décédé	4 à 5 Gy	70 à 90 Gy au foie	Administration d'une dose plus élevée que celle prescrite (7,4 GBq au lieu de 7,4 MBq).	[189, 190]
3	1966	URSS	Kalouga	Radiographie, 50kV	Exposition localisée à la tête (1 personne)	1,5 Gy	> 20 Gy au front	Erreur grossière de l'opérateur.	[114]
4	1970	Australie		Rayons X	Exposition localisée (2 personnes)	–	4 à 45 Gy		[114]
5	1972	Chine	Wuhan	Radiothérapie ⁶⁰ Co	20 patients et 8 membres du personnel exposés	0,5 à 2,45 Gy	–	Le fait que la source était tombée du porte-source n'a pas été remarqué pendant 16 jours ; conception du dispositif non conforme aux normes internationales.	[128, 168, 191]
6	1974–1976	États-Unis	Ohio (Riverside)	Radiothérapie ⁶⁰ Co	426 patients surexposés	10 à 45 % trop élevée	–	Utilisation d'une courbe de décroissance incorrecte, absence d'étalonnage périodique.	[155]
7	1975	Allemagne		Matériel de radiographie	1 membre du personnel exposé (tête et haut du thorax)	–	> 1 Gy	Violation probable des pratiques de travail sûres lors de la maintenance.	[32, 39]
8	1975	Argentine	Tucuman	Radiothérapie externe ⁶⁰ Co	2 membres du personnel exposés, lésions aux doigts	–	–	Défaillance du dispositif mécanique de la source.	[32, 39]
9	1975	URSS, Russie	Sverdlovsk	460 PBq ⁶⁰ Co	1 personne est décédée et 2 ont subi des effets	3,0 à 7,0 Gy	3,0 à 7,0 Gy	Chute accidentelle de la source hors du conteneur.	[118]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
10	1977	Allemagne		Appareil « Radiogram » (^{192}Ir)	1 membre du personnel a subi une lésion localisée	0,01 mGy	5 Gy	Matériel défectueux.	[32, 39]
11	1977	Royaume-Uni		Médecine nucléaire ^{125}I	2 membres du personnel exposés par incorporation, dont 1 fortement à la thyroïde	–	1,7 Gy	Contamination accidentelle de laborantins.	[32, 39]
12	1979	Argentine	Parana	Radiologie diagnostique	1 membre du personnel exposé	0,94 Gy	–	En raison d'un câblage défectueux, émission de rayons X alors que la partie supérieure du fluoroscope était ouverte.	[32, 39]
13	1980	Inde	Ludihana	Radiothérapie	3 membres du personnel ou patients exposés, pas d'incidences sur la santé	0,25, 0,4 et 0,5 Gy	–	Matériel défectueux (fuite de mercure par l'obturateur).	[32, 39]
14	1981	France	Saintes	Radiothérapie externe, source ^{60}Co de 137 TBq	3 membres du personnel amputés des mains	–	> 25 Gy	Source au contact direct des mains pendant le chargement.	[192]
15	1981–1991	Royaume-Uni		Radiothérapie	1 045 (492 patients ont fait une récidive locale, sans doute à cause du sous-dosage)	–	Dose de 5 à 30 % trop faible	Mise en service incorrecte d'un système informatisé de planification des traitements.	[178]
16	1982	Argentine	La Plata	Installation de radiothérapie	Cataractes (1 membre du personnel)	0,12 Gy	5,8 Gy	L'opérateur a regardé par la fenêtre d'un tube lors du remplacement des tubes sans s'apercevoir que le système était sous tension.	[193]
17	1985	États-Unis	Géorgie (Marietta)	Radiothérapie (accélérateur Therac-25)	1 patient a subi des lésions au bras et à l'épaule	Dose beaucoup plus élevée que celle prescrite	–	Problème d'intégration du matériel et du logiciel du système.	[193]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
18	1985	Canada	Ontario (Hamilton)	Radiothérapie (accélérateur Therac-25)	Lésion grave à la hanche (1 patient)	Dose beaucoup plus élevée que celle prescrite	–	Problème d'intégration du matériel et du logiciel du système.	[193]
19	1985	Royaume-Uni		Médecine nucléaire ¹²⁵ I	Incorporation et exposition de la thyroïde (1 membre du personnel)	–	400 Gy	Un technicien s'est fait une coupure à un doigt alors qu'il portait un gant contaminé à l'iode 125 et a sué le doigt coupé.	[32, 39]
20	1985	Chine		Injections de ¹⁹⁸ Au	3 patients surexposés, dont 1 est décédé	Dose beaucoup plus élevée que celle prescrite	–	Erreur de traitement.	[114]
21	1986	Royaume-Uni		Radiothérapie, 130 TBq ⁶⁰ Co	1 membre du personnel a subi une lésion à la main	< 0,1 Gy	15 Gy	Exposition lors du remplacement de la source. Un défaut d'alignement des tubes a empêché de pousser la source dans une position sûre.	[32, 39]
22	1986	États-Unis	Texas (Tyler)	Accélérateur Therac-25	1 patient décédé	Dose beaucoup plus élevée que celle prescrite	–	Problème d'intégration du matériel et du logiciel du système.	[193]
23	1986–1987	Allemagne		Cobaltothérapie	86 patients	–	–	Calcul des doses de ⁶⁰ Co basé sur des tables de calcul de dose erronées (diverses surdoses). Pas de mesure indépendante du débit de dose.	[178]
24	1987	États-Unis	Washington (Yakima)	Accélérateur Therac-25	1 patient surexposé	Dose beaucoup plus élevée que celle prescrite	90 à 100 Gy au thorax	Problème d'intégration du matériel et du logiciel du système et erreur de l'opérateur.	[193]
25	1987–1988	États-Unis	Maryland	Cobaltothérapie	33 patients exposés, dont 20 sont décédés 33 patients ont reçu des doses élevées au cerveau	N.C.	75 % > dose prescrite	Planification des traitements, fichier informatique non actualisé après le remplacement de la source.	[178]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
26	1988	Pays-Bas	Rotterdam	Accélérateur Sagittaire	Lésions au haut du corps et à la tête (1 patient)	–	10 à 20 Gy	Fuite de rayonnements pendant le traitement.	[194]
27	1988	Royaume-Uni		Cobaltothérapie	207 patients	–	Surdose de 25 %	Erreur d'étalonnage d'un appareil de cobaltothérapie (surdose de 25 %). Pas d'étalonnage indépendant du faisceau.	[178]
28	1988–1989	Royaume-Uni		Source de curiethérapie ¹³⁷ Cs	22 patients	–	Surdose de 75 %	Erreur d'identification de sources ¹³⁷ Cs de curiethérapie (erreurs de dosimétrie comprises entre -20 % et +10 %). Pas de mesure indépendante de la puissance des sources.	[178]
29	1990	Espagne	Saragosse	Accélérateur linéaire	27 patients surexposés, dont 15 sont décédés.	2 à 7 fois la dose prescrite	–	Absence d'essais post-maintenance. On a supposé que l'indicateur du cadran de contrôle était bloqué ; l'appareil fonctionnait à la puissance maximum (faisceau d'électrons de 36 MeV) quelle que soit la puissance choisie.	[155, 178, 195]
30	1992	États-Unis	Pennsylvanie (Indiana)	Source de curiethérapie (fil ¹⁹² Ir, 16 de GBq)	1 patient décédé, 94 autres personnes exposées ; la source est restée sur le patient pendant 4 jours, puis est tombée et a été évacuée avec les déchets biologiques dangereux ; a été découverte et contrôlée à l'incinérateur	–	16 000 Gy à 1 cm au lieu de 18 Gy	Éjection de la source ; non vérification du retour de la source dans son étui blindé.	[155, 178, 196]
31	1994	États-Unis		Curiothérapie à débit de dose élevé	Dose administrée au mauvais endroit du corps du patient	N.C.	12 Gy	Erreurs dans la planification du traitement.	[197]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
32	1995	Pérou	Arequipa	Cobaltothérapie	1 personne exposée, lésions à la main	0,7 Sv	> 30 Gy	En tentant de réparer un appareil de cobaltothérapie, un ouvrier non-qualifié a touché la source avec sa main droite pendant moins d'une seconde.	[32, 39]
33	1996	Costa Rica	San José	Cobaltothérapie	63 patients surexposés : 17 décès	50 à 60 % supérieure à la dose prescrite	–	Erreur de calcul du débit de dose.	[20, 178]
34	1998	Japon	Okinawa	Radiothérapie, ^{192}Ir	2 membres du personnel exposés	–	Pas d'effets sur la santé	Source touchée par négligence lors de son remplacement.	[156]
35	1999–2000	Japon	Tokyo	LINAC	23 patients surexposés	1,23 fois la dose prescrite	–	Erreur de saisie de la dose dans l'ordinateur contrôlant les doses administrées aux patients.	[156]
36	2000–2001	Panama	Panama City	Cobaltothérapie	23 patients surexposés : 5 sont décédés, les autres ont subi des lésions importantes	2 fois la dose prescrite	–	Mauvaise utilisation d'un système de planification des traitements.	[24, 198]
37	2001	Pologne	Bialystok	Accélérateur linéaire	5 patients ont subi des lésions	Nettement supérieure à la dose prescrite	–	Systèmes de contrôle des doses et de sûreté endommagés à cause d'une panne d'électricité.	[27]
38	2001	Japon	Tokyo	Linac-CT	1 travailleur exposé	< 200 mSv	–	Un travailleur qui se trouvait au-dessus de la pièce a été accidentellement exposé lors d'un essai de production de rayonnements.	[156]
39	2002	Chine	Ho-nan	Cobaltothérapie	1 personne exposée (corps entier et main droite)	1 à 2 Gy	> 20Gy	Négligence lors de la maintenance.	[199]
40	2004	France	Épinal		23 patients surexposés : 4 décès	20 % supérieure à la dose prescrite	–	Erreurs dans la planification des traitements. Instructions dans une langue que l'opérateur ne comprenait pas.	[200]

N°	Année	Pays	Province/ville	Type d'utilisation	Conséquences	Dose reçue	Dose équivalente reçue	Cause principale	Réf.
41	2006	Royaume-Uni	Écosse (Glasgow)	Accélérateur linéaire	1 patient surexposé	58 % supérieure à la dose prévue	–	Inexpérience du responsable de la planification des traitements. Erreur critique dans les données utilisées lors de l'administration du traitement.	[201]
42	2007	États-Unis	Michigan (Detroit)	Radiothérapie (Gamma knife)	1 patient traité au mauvais endroit	N.C.	18 Gy	Mauvais côté du cerveau traité en raison d'une inversion de l'image IRM.	[202]

RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, BUREAU DE LA COORDINATION DES AFFAIRES HUMANITAIRES DE L'ONU, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINNE DE LA SANTÉ, Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, collection Normes de sûreté n° GS-R-2, AIEA, Vienne (2004).
- [2] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINNE DE LA SANTÉ, Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, collection Sécurité n° 115, AIEA, Vienne (1997).
- [3] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Infrastructure législative et gouvernementale pour la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté des déchets radioactifs et la sûreté du transport, collection Normes de sûreté n° GS-R-1, AIEA, Vienne (2004).
- [4] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Sûreté des centrales nucléaires : conception, collection Normes de sûreté n° NS-R-1, AIEA, Vienne (2005).
- [5] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Sûreté des centrales nucléaires : exploitation, collection Normes de sûreté n° NS-R-2, AIEA, Vienne (2004).
- [6] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MARITIME INTERNATIONALE, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINNE DE LA SANTÉ, PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, Principes fondamentaux de sûreté, collection Normes de sûreté n° SF-1, AIEA, Vienne (2007).
- [7] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Glossaire de sûreté de l'AIEA, Terminologie employée en sûreté nucléaire et en radioprotection, Édition 2007, AIEA, Vienne (2007).
- [8] CRICK, M.J., LINSLEY, G.S., An assessment of the radiological impact of the Windscale reactor fire, October 1957, *Int. J. Radiat. Biol.*, 46 5 (1984) 479–506.
- [9] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Investigation into the March 28, 1979 Three Mile Island Accident by Office of Inspection and Enforcement, NUREG-600, USNRC, Washington, DC (1979).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The International Chernobyl Project Technical Report, Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures, Report by an International Advisory Committee, (1991).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Criticality Accident in Sarov, IAEA, Vienna (2001).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Report on the Preliminary Fact-Finding Mission Following the Accident at the Nuclear Fuel Processing Facility in Tokaimura, Japan, IAEA (1999).
- [13] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, L'accident radiologique de Goiânia, AIEA, Vienne (1990).

- [14] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, L'accident radiologique de San Salvador, AIEA, Vienne (1991).
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Soreq, IAEA, Vienna (1993).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in the Irradiation Facility in Nesvizh, IAEA, Vienna (1996).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, An Electron Accelerator Accident in Hanoi, Viet Nam, IAEA, Vienna (1996).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Tammiku, IAEA, Vienna (1998).
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk, IAEA, Vienna (1998).
- [20] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in San José, Costa Rica, IAEA, Vienna (1998).
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Istanbul, IAEA, Vienna (2000).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Yanango, IAEA, Vienna (2000).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Lilo, IAEA, Vienna (2000).
- [24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Investigation of an Accidental Exposure of Radiotherapy Patients in Panama, IAEA, Vienna (2001).
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Samut Prakarn, IAEA, Vienna (2002).
- [26] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Gilan, IAEA, Vienna (2002).
- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiological Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in Bialystok, IAEA, Vienna (2003).
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Cochabamba, IAEA, Vienna (2004).
- [29] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Irradiation Facilities, IAEA, Vienna (1996).
- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7, IAEA, Vienna (1998).
- [31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidental Exposures in Radiotherapy, Safety Reports Series No. 17, IAEA, Vienna (2000).
- [32] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, II Effects, Annex C, Radiation Exposures in Accidents, United Nations, New York (2011) 1–43.
- [33] CROFT, J., et al., Management of response to the polonium-210 incident in London. Proc. of 12th International Congress of the International Radiation Protection Association (2008).
- [34] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Méthode d'élaboration de mesures d'intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, collection Préparation et intervention en cas de situation d'urgence, EPR-METHOD 2003, AIEA, Vienne (2009).
- [35] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, NUREG-1150, USNRC, Washington, DC (1990).
- [36] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Technical Study of Spent Fuel Pool Accident Risk at Decommissioning Nuclear Power Plants, USNRC, Washington, DC (2001).
- [37] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Perspectives on Reactor Safety, Sandia Laboratory National Laboratories, NUREG/CR-6042, Revision 2 (2002).

- [38] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York (1988).
- [39] COMITÉ SCIENTIFIQUE DES NATIONS UNIES POUR L'ÉTUDE DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS, Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants à l'Assemblée générale, avec annexes scientifiques, Volume I : Sources ; Volume II : Effets, Nations Unies, New York (2000).
- [40] REITAN, J.B., The 60Co accident in Norway 1982: A clinical reappraisal, The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II: Clinical Experience and Follow-up since 1979 (RICKS, R.C., FRY, S.A., Eds.) Elsevier, New York (1990).
- [41] STAVEM, P., BROGGER, A., DEVIK, F., et al., Lethal acute gamma radiation accident at Kjeller, Norway, Report of a case, Acta Radiol. Oncol. 24 1 (1985) 61–63.
- [42] CHANTEUR, J., Forbach : un accident d'irradiation, Médecins et Rayonnements Ionisants 3 (1992) 5-6.
- [43] ZERBIB, J.C., Forbach : une certaine logique industrielle ? Sécurité – Revue de Préventique 6 (août/septembre) (1993).
- [44] MARTINEZ, R.G., CASSAB, G.H., GANEM, G.C., et al. Observations of the accidental exposures of a family to a source of cobalt-60. Rev. Med. Inst. Mex. Seguro Soc. 3 (Suppl.1) (1964) 14–68.
- [45] JAMMET, H., GONGORA R., POUILLARD P. et al. "The 1978 Algerian accident: four cases of protracted whole-body irradiation" The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.) Elsevier North/Holland, New York, (1980) 113–129.
- [46] METTLER, F.A. Jr., NÉNOT, J.C., "Accidental radiation injury from industrial radiography sources" Medical Management of Radiation Accidents, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A. Jr., Eds) CRC Press, Boca Raton, (2001) 241–258.
- [47] OFFICE OF CHIEF COUNSEL, Staff reports to the President's Commission on the Accident at Three Mile Island: Emergency Preparedness, Emergency Response, Washington, DC (1979).
- [48] DYNES, R.R., PURCELL, A.H., WENGER, D.E., STERN, P.S., STALLINGS, R.A., JOHNSON, Q.T., Staff Report to the President's Commission on the Accident at Three Mile Island: Report of the Emergency Preparedness and Response Task Force, Washington, DC: The President's Commission on the Accident at Three Mile Island, (1979).
- [49] LEGASOV, V., Testament by First Deputy Director of the Kurchatov Institute of Atomic Energy, Moscow, as published by Pravda 20 May 1988, , translation taken from MOULD, R. F., Chernobyl Record: The Definitive History of the Chernobyl Catastrophe, Bristol, Institute of Physics Publishing (2000).
- [50] LUBENAU, J.O., Learning from operational experience of radiation sources in the twentieth century, Procs. of International Conference on the Safety of Radiation Sources and the Security of Radioactive Materials, 14–18 September 1998, Dijon, IAEA, Vienna (1999).
- [51] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire et Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, collection juridique n° 14, AIEA, Vienne (1988).
- [52] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Emergency Notification and Assistance Technical Operations Manual, Emergency Preparedness and Response Series, EPR-ENATOM, IAEA, Vienna (2007).
- [53] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Clarification of TMI Action Plan Requirements: Requirements for Emergency Response Capability, NUREG-0737, Supplement No. 1, Washington, DC (1982).
- [54] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Severe Accident Insights Report, NUREG/CR 5132, Brookhaven National Laboratory, USA, April (1988).
- [55] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, TMI-2 Lessons Learned Task Force Status Report and Short-term Recommendations, NUREG-0578, Washington DC (1979).
- [56] DRABEK, T.E., Human System Responses to Disaster; New York: Springer-Verlag (1986).

- [57] HANS, J.M. Jr., SELL, T.C., Evacuation Risk – An Evaluation, EPA-520/6-74-002, US Environmental Protection Agency, Office of Radiation Research, National Environmental Research Center, Las Vegas, Nevada (1974).
- [58] LINDELL, M.K., PERRY, R.C, Behavioral Foundations of Community Emergency Planning, Washington DC, Hemisphere Publishing (1992).
- [59] TIERNEY, K.J., LINDELL, M.K., PERRY, R.W., Facing the Unexpected: Disaster Preparedness and Response in the United States, Washington, DC, Joseph Henry Press (2001).
- [60] LINDELL, M.K., PERRY, R.W., Risk Communication: Disaster Warning and Hazard Awareness for Multi-Ethnic Communities, Thousand Oaks CA, Sage Publications (2003).
- [61] WITZIG, W.F., SHILLENN, J.K., Evaluation of Protective Action Risks, NUREG/CR-4726, Washington, DC, US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (1987).
- [62] WAUGH, W. L. Jr. Shelter from the storm: repairing the national emergency management system after hurricane Katrina, American Academy of Political and Social Science, 604, 1, (2006) 288-332.
- [63] KEMENY, John G President’s Commission: Reports of The Public Health and Safety Task Force, Washington, DC: U. S. Government Printing Office (1979).
- [64] HOUTS, P.S., CLEARLY, P.D., HU, T.W., The Three Mile Island Crisis, University Park, PA, The Pennsylvania State University Press (1987).
- [65] LINDELL, M.K., PERRY, R.W., Nuclear power plant emergency warning: How would the public respond? Nuclear News, 26, (1983) 49–53.
- [66] ROGOVIN, Mitchell, Three Mile Island: A Report To The Commissioners And To The Public, Vol. II, Part 3, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, (1980).
- [67] HOUTS, P.S., LINDELL, M.K., HU, T.W., CLEARLY, P.D., TOKUHATA, G FLYNN, C.B., The protective action decision model applied to evacuation during the Three Mile Island crisis, International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 2, (1984) 27–39.
- [68] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (NRC), Pilot Program: NRC Severe Reactor Accident Incident Response Training Manual, NUREG-1210, USNRC, Washington, DC (1987).
- [69] LINDELL, M.K., Perceived characteristics of environmental hazards, International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 12, (1994) 303–326.
- [70] SORENSEN, J.H., VOGT, B. M., Public Response to a Dual Protective Action Warning: An Analysis of a Chemical Repackaging Plant Accident in West Helena, Arkansas, Oak Ridge, TN, Oak Ridge National Laboratory, 1999.
- [71] ILIN, L.A., et al, Radioactive iodine in the problem of radiation safety, Atomizdat, Moscow (1972); [English translation: US Atomic Energy Commission, Washington, DC, Translation Series, AEC-tr-7536].
- [72] NAUMAN, J., WOLFF, J., Iodine prophylaxis in Poland after the Chernobyl reactor accident: benefits and risks. Am J. Med 94, (1993) 524–532.
- [73] Buglova E., Kenigsberg J., McKenna T. Reactor accidents and thyroid cancer risk: Use of the Chernobyl experience for emergency response. Proceedings of the International Symposium on Radiation and Thyroid Cancer. Eds. G.Thomas, A.Karaoglou, E.D.Williams. World Scientific, (1999) 449-453.
- [74] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Idaho Field Experiments 1981, NUREG/CR-3488 (Feb.1985).
- [75] McKENNA, T.J., GITTER, J.G., US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Source Term Estimation During Incident Response to Severe Nuclear Power Plant Accidents, NUREG-1228, Washington, DC (1988).
- [76] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, A Regulatory Analysis on Emergency Preparedness for Fuel Cycle and Other Radioactive Material Licensees, US Nuclear Power Plants, NUREG-1140, USNRC, Washington, DC (1988).
- [77] LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY, A Review of Criticality Accidents, 2000 Revision, LA-13638, Los Alamos (2000).
- [78] WALKER, J. Samuel, Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective, University of California Press, Berkeley, CA, USA (2006).

- [79] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Assessment of the Public Health Impact from the Accidental Release of UF₆ at the Sequoya Fuels Corporation Facility at Gore, Oklahoma, NUREG-1189, 1, Washington, DC (1986).
- [80] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Rupture of Model 48Y UF₆ Cylinder and Release of Uranium Hexafluoride, NUREG-1179, 1, Washington, DC (1986).
- [81] BOWONDER, B. The Bhopal accident, *Technological Forecasting and Social Change*, 32 2 (1987) 169–182.
- [82] PERRY, R.W., LINDELL, M.K., GREEN, M.R., Threat perception and public response to volcano hazard, *Journal of Social Psychology*, 116, (1982) 199–204.
- [83] LIPSTEIN, J.L., CUNHA, P.G., OLIVEIRA, C.A.N., The Goiânia accident: behind the scenes, *Health Physics*, 60 1 (1991) 5–6.
- [84] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR, 2011 Report to the General Assembly with Annexes, II. United Nations New York (2011).
- [85] COMMISSION DU CODEX ALIMENTARIUS (Genève, 1989), Limites indicatives pour les radionucléides dans les aliments applicables dans le commerce international à la suite d'une contamination nucléaire accidentelle (CAC/GL 5-1989).
- [86] Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires, Commission du Codex Alimentarius, Juillet 2006 (ALINORM 06/29/41, paragraphes 63-66 et Appendice IV, Partie 2).
- [87] Ilyin L.A., Kenigsberg J.E., Linge I.I. et al. Radiation protection of public in response to Chernobyl accident. 20 years after Chernobyl. Strategy for recovery and sustainable development of the affected regions: Proceedings of International Conference, 19-21 April, 2006, Minsk, (2006) 74-88, (en russe).
- [88] ALEKSAKHIN, R.M., BULDAKOV, L.A., GUBANOV, V.A., et al., Large radiation accidents: consequences and protective measures, ILYIN, L.A. and GUBANOV, V.A., (Eds.), Moscow, Izdat, (2001) (en russe).
- [89] Prister B., Chernobyl catastrophe: efficiency of measures for public protection, experience of international cooperation. Kiev, (2007) 9-12, (en russe).
- [90] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', IAEA, Vienna (2006).
- [91] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. The Chernobyl Forum: 2003–2005: Second revised version. IAEA, Vienna (2006).
- [92] BINNS D.A.C Goiânia 1987- Searching for Radiation, Proceedings of International Conference, Goiânia – 10 years after, Goiânia 1997, IAEA (1998) 217-222.
- [93] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Contaminated Mexican Steel Incident, NUREG-1103, Washington, D.C. (1985).
- [94] UK RESILIENCE, "Emergency Response and Recovery", <http://www.ukresilience.info/>
- [95] WESTMINSTER CITY COUNCIL, Project report on the framework strategy for dealing with radioactive contamination arising from the circumstances surrounding the death of Alexander Litvinenko Westminster City Hall, UK, (2007).
- [96] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents, EPA 400-R-92-001, EPA, Washington, DC (1992).
- [97] CIVIL CONTINGENCIES ACT 2004.
<http://www.cabinetoffice.gov.uk/media/132428/15mayshortguide.pdf>
- [98] AUF DER HEIDE, E., Disaster Response: Principles of Preparation and Coordination, St. Louis, MO: Mosby (1989).
- [99] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (NRC) Backgrounder on the Three Mile Island Accident, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html> (2009).
- [100] CHENAULT W. W., HILBERT G. D., REICHLIN, S. D., 1980 Evacuation Planning in the TMI Accident. RS 2-8-34, Federal Emergency Management Agency.

- [101] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Unauthorized Forced Entry into the Protected Area at Three Mile Island Unit 1 on February 7, 1993, NUREG-1485, Washington, D.C. (1993).
- [102] LONDON RESILIENCE, Looking back, moving forward: lessons identified and progress since the Terrorist Events of 7 July 2005, (2006), <http://www.londonprepared.gov.uk/downloads/lookingbackmovingforward.pdf>
- [103] NATIONAL COMMISSION ON TERRORIST ATTACKS UPON THE UNITED STATES, The 9/11 Commission Report, <http://govinfo.library.unt.edu/911/report/911Report.pdf>, U.S. Government Printing Office, Washington D.C. (2004).
- [104] FORD, J., SCHMIDT, A. "Emergency Preparedness Training: Strategies for Enhancing Real-World Performance" *Journal of Hazardous Materials*, 75 (2000) 195-215.
- [105] COMITÉ SCIENTIFIQUE DES NATIONS UNIES POUR L'ÉTUDE DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS, Rapport à l'Assemblée générale, UNSCEAR 2000. ANNEX J: Exposure and effects of the Chernobyl accident. United Nations, New York (2000) 488, paragraph 184.
- [106] COMITÉ SCIENTIFIQUE DES NATIONS UNIES POUR L'ÉTUDE DES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS, Rapport à l'Assemblée générale, avec annexes scientifiques, UNSCEAR 1993, Nations Unies, New York (1993).
- [107] WILSON, J., et al., Environmental sampling and analysis on the London underground in response to the 7th July 2005 bombings: lessons identified for major incident management, Chemical Hazards and Poisons Report, Health Protection Agency, June 2006.
- [108] HEALTH PROTECTION AGENCY, The Public Health Impact of the Buncefield Oil Depot Fire, (July 2006), http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947321467
- [109] HARRISON, J.D., et al, Polonium-210 as a poison, *J Radiological Protection* 27 (2007) 17–40.
- [110] BAILEY, M.R., et al., Individual monitoring conducted by the Health Protection Agency in the London polonium-210 incident. *Proc. of the 12th International Congress of the International Radiation Protection Association* (2008).
- [111] METTLER JR., F.A., VOELZ, G.L., NÉNOT, J.C., et al., "Criticality accidents" *Medical Management of Radiation Accidents*, 2nd edn, (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.), CRC Press, Boca Raton, (2001) 173-194.
- [112] VARGO, G.J., A brief history of nuclear criticality accidents in Russia – 1953–1997, PNNL-12199, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington (1999).
- [113] ANDREWS, G.A., HUBNER, K.F., FRY, S.A., et al., "Report of 21-year medical follow-up of survivors of the Oak Ridge Y-12 accident" *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.), Elsevier North/Holland, New York, (1980) 59–79.
- [114] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Planning the Medical Response to Radiological Accidents, Safety Reports Series No. 4, IAEA, Vienna (1998).
- [115] KARAS, J.S., STANBURY, J.B., Fatal radiation syndrome from an accidental nuclear excursion. *N. Engl. J. Med.* 272 15 (1965) 755–761.
- [116] JAMMET, H., GÓNGORA, R., LEGO, R., et al., "Clinical and biological comparison of two acute accidental irradiations: Mol (1965) and Brescia (1975)" *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.) Elsevier North/Holland, New York, 1980.
- [117] PARMENTIER, N.C., NÉNOT, J.C., JAMMET, H.J., "A dosimetric study of the Belgian (1965) and Italian (1975) accidents" *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.) Elsevier North/Holland, New York, 1980.
- [118] SOLOVIEV, V., ILYIN, L.A., BARANOV, A.E., et al., "Radiation accidents in the former U.S.S.R." *Medical Management of Radiation Accidents*, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.) CRC Press, Boca Raton, (2001) 157–165.
- [119] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice on the fatality at the Argentina nuclear facility, US Nuclear Regulatory Commission, Office of Inspection and Enforcement. (May 1984) 83–66.

- [120] AKASHI, M., “Initial symptoms of three victims in the Tokaimura criticality accident” *The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness: The Clinical Care of Victims*, (RICKS, R.C., BERGER, M.E., O’HARA, F.M., Jr., Eds.) The Parthenon Publishing Group, New York, (2002) 303-311.
- [121] HEID, K.R., BREITENSTEIN, B.D., PALMER, H.E., et al., “The 1976 Hanford americium accident” *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York, (1980) 345-355.
- [122] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Assessment of the public health impact from the accidental release of UF₆ at the Sequoyah Fuels Corp. facility at Gore, Oklahoma, March 1986, Report No. 1189 (March 1989).
- [123] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Inventory of accidents and losses at sea involving radioactive material, IAEA-TECDOC-1242, IAEA, Vienna (2001).
- [124] BENINSON, D., PLACER, A., VANDER ELST, E., Estudio de un caso de irradiación humana accidental, *Handling of Radiation Accidents, Proc. of a Symposium*, Vienna, 19–23 May 1969, IAEA, Vienna (1969) 415–429.
- [125] ANNAMALAI, M., IYER, P.S., PANICKER, T.M.R., Radiation injury from acute exposure to an iridium-192 source: case history, *Health Phys.* 35 2 (1978) 387–389.
- [126] SCHNEIDER, G.J., CHONE, B., BLONNIGEN, T., Chromosomal aberrations in a radiation accident: dosimetric and hematological aspects, *Radiat. Res.* 40 3 (1969) 613–617.
- [127] HARRISON, N.T., ESCOTT, P., DOLPHIN, G.W., The investigation and reconstruction of a severe radiation injury to an industrial radiographer in Scotland, *Proc. of the Third International Congress of the International Radiation Protection Association Washington, 1973* (Snyder, S., Ed.). USAEC, Washington (1973) 760–768.
- [128] PAN, Z.Q., et al., Review of Chinese nuclear accidents, *Medical Management of Radiation Accidents*, 2nd edn, (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.) CRC Press, Boca Raton (2001) 149–155.
- [129] PAN, Z., et al., Environmental quality assessment of nuclear industry of China over past 30 years, Atomic Energy Publishing, Beijing (1990).
- [130] BARLOTTA, F.M., The New Jersey radiation accidents of 1974 and 1977, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 151–160.
- [131] BALLAY, L. (Ed.), Adaptation of INES scale to radiological incidents and accidents in Hungary, Report by NRIRR for HAEA, Budapest, Sept.30 (2010).
- [132] SCOTT, E.B. II., The 1978 and 1979 Louisiana accidents: exposure to iridium 192 *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 223–227.
- [133] YE, G.Y., et al., The People’s Republic of China radiation accidents, 1980, 1985, 1986, and 1987, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II: Clinical Experience and Follow-up since 1979* (RICKS, R.C., FRY, S.A., Eds.). Elsevier, New York (1990).
- [134] WANG, G., et al., Clinical report of two cases of acute radiation sickness, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 8 6 (1989) 396–399.
- [135] GOU, Y., et al., Dose estimates for two cases accidentally exposed to a Co-60 source, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 9 2 (1989) 115–117.
- [136] ZHANG, W., et al. Dose estimation and evaluation of an accidental exposure caused by an iridium-192 radiographic source. *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 10 4 (1990) 278–279.
- [137] LIU, B., YE, G., (Eds.), *Collected Papers on Diagnosis and Emergency Treatment of the Victims Involved in Shanghai, June 25, 60Co Radiation Accident*, Military Medical Science Press, Beijing, China (1996).
- [138] LLOYD, et al; Death of a classified worker probably caused by overexposure to radiation. *Occup. Environ. Med.* 51 (1994) 713–718.
- [139] SUZUKI, G., Accident report of Co-60, *Japanese Journal of Health Physics* 34 3 (1999) 277–280 (en japonais).

- [140] DA SILVA, F.C., HUNT, J.G., RAMALHO, A.T., et al., Dose reconstruction of a Brazilian industrial gamma radiography partial-body overexposure case, *J. Radiol. Prot.* 25 3 (2005) 289–298.
- [141] YAO B., JIANG B.R., AI, H.S., LI, Y.F., LUI, G.X., Biological dose estimation for two severely exposed patients in a radiation accident in Shandong Jining, China, in 2004. *Int. J. Radiat. Biol.* 86 9 (2010) 800–808.
- [142] AI, H.S., YU, C.L., QIAO, J.H., et al., Medical management of irradiated patients in a radiation accident in Jining, Shandong Province. *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 27 (2007) 1–5.
- [143] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *The Radiological Accident in Nueva Aldea*, STI/PUB/1389, IAEA, Vienna (2009).
- [144] “Information file: Sterigenics” at http://www.sterigenics.com/company/news/items/fleurus_accident
- [145] HOWLAND, J.W., INGRAM, M., MERMAGEN, H., et al., The Lockport incident: accidental body exposure of humans to large doses of x-irradiation, *Diagnosis and Treatment of Acute Radiation Injury*, Proc. of a scientific meeting jointly sponsored by International Atomic Energy Agency/World Health Organization (1960) 11–26.
- [146] GILBERTI, M.V., The 1967 radiation accident near Pittsburgh, Pennsylvania, and a follow-up report, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 131–140.
- [147] LANZL, L.H., ROZENFELD, M.L., TARLOV, A.R., Injury due to accidental high-dose exposure to 10 MeV electrons, *Health Phys.* 13 3 (1967) 241–251.
- [148] GILBERTI, M.V., WALD, N., The Pittsburgh radiation accident: twenty-three-year follow-up of clinical and psychological aspects, *The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness III: The Psychological Perspective* (RICKS, R.C., BERGER, M.E., O’HARA, F.M., Jr., Eds.). Elsevier, New York (1991) 199–208.
- [149] ZHOU, Z., et al. Cause investigation and dose assessment in an accident to a Van de Graaff accelerator, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 10 2 (1990) 115–116.
- [150] DESROSIERS, M.F., In vivo assessment of radiation exposure, *Health Phys.* 61 6 (1991) 859–861.
- [151] SOLEO, L., BASSO, A., DI LORENZO, L., et al., Acute radiodermatitis from accidental overexposure to x-rays, *Am. J. Ind. Med.* 30 2 (1996) 207–211.
- [152] IRID: Ionising Radiations Incident Database, Disabled warning signals and failure to follow local rules causes localised exposure to radiographer from X-ray set, IRID case number 007/93 (1993), www.irid.org.uk.
- [153] BERGER, M.E., HURTADO, R., DUNLAP, J., et al., Accidental radiation injury to the hand: anatomical and physiological considerations, *Health Phys.* 72 3 (1997) 343–348.
- [154] VALVERDE, NJ, DEL., LUCENA M.C., DE BRAZILIAN, C.H., et al., Radiation overexposure to the x-ray beam of a diffractometer affected the hands of three workers in Camacari, Brazil. *Rev. Assoc. Bras.* 46 1, (Jan/Mar 2000) 81-89.
- [155] METTLER JR., F.A., ORTIZ-LOPEZ, P., Accidents in radiation therapy, *Medical Management of Radiation Accidents*, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.). CRC Press, Boca Raton (2001) 291–297.
- [156] NUCLEAR SAFETY COMMISSION OF JAPAN, Accidents and Incidents related to radiation and radioactive materials, Nuclear Safety Commission of Japan, Tokyo (2002) (en japonais).
- [157] YAO, X. D., ZHANG, X. L., Investment on two unexpected exposures of X-ray flaw detector in Leshan, *Occupation and health* 20 (2004) 18–19.
- [158] ROSSI, E.C., THORNGATE, A.A., LARSON, F.C., Acute radiation syndrome caused by accidental exposure to cobalt-60. *J. Lab. Clin. Med.* 59 (1962) 655–666.
- [159] BARABANOVA, A.V., Local Radiation Injury, *Medical Management of Radiation Accidents*, 2nd edn., GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr. Eds., CRC Press, Boca Raton, (2001) 223–240.
- [160] VODOPICK, H., ANDREWS, G.A., The University of Tennessee comparative animal research laboratory accident in 1971, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 141–149.

- [161] LINSLEY, G.S., Over-exposure during work with X-ray crystallographic equipment. *Radiol. Prot. Bull.* 5 (1973) 15–16.
- [162] BUSHBERG, J.T., FERGUSON, T., SHELTON, D.K., et al., Exposure analysis and medical evaluation of a low-energy X-ray diffraction accident, *Medical Management of Radiation Accidents*, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr. Eds.). CRC Press, Boca Raton (2001) 277-287.
- [163] SHI, Y., et al., Dose analysis for Sanlián radiation accident, *Proceedings of Clinical Study of 23 Acute Radiological-Disease Patients*, Atomic Energy Publishing, Beijing (1985).
- [164] HIROSHIMA, K., SUGIYAMA, H., ISHIHARA, T., et al., The 1971 Chiba, Japan accident: exposure to iridium-192, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 179–195.
- [165] NATIONAL COMMISSION OF NUCLEAR SAFETY AND SAFEGUARDS (CNSNS). *Accidentes IX Rayos x Industrial de Mexico S.A. de C.V.*
- [166] LLOYD, D.C., PURROTT, R.J., PROSSER, J.S., et al., Doses in radiation accidents investigated by chromosome aberration analysis VIII: A review of cases investigated: 1977. *NRPB-R70* (1978).
- [167] YAO, S., et al., Chromosome aberrations in persons accidentally exposed to Cs-137 gamma rays, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 4 6 (1984) 22.
- [168] JIN, C. et al. Cytogenetic follow-up studies in persons accidentally exposed to ^{60}Co γ rays – 10 years post exposure, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 5 1 (1985) 14–17.
- [169] ROSS, J.F., HOLLY, F.E., ZAREM, H.A., et al., The 1979 Los Angeles accident: exposure to iridium 192 industrial radiographic source, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 205–221.
- [170] WANG, J., et al., Five year medical observation on seven cases accidentally exposed to ^{60}Co γ rays, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 9 2 (1989) 73–76.
- [171] TASK GROUP DEALING WITH HANZHONG CO-60 SOURCE ACCIDENT, Five year observation on cases accidentally exposed to Co-60 gamma rays, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 9 2 (1989) 73–76.
- [172] BURSON, Z., LUSHBAUGH, C.C., “The 1983-1984 Ciudad Juarez, Mexico ^{60}Co accident” *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II: Clinical Experience and Follow-up since 1979* (RICKS, R.C., FRY, S.A. Eds.). Elsevier, New York, 1990.
- [173] MARSHALL, E., Morocco reports lethal radiation accident, *Science* 225 4660 (1984) 395.
- [174] HUANG, S., et al., A clinical report of three cases of acute radiation sickness, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 9 2 (1989) 82–86.
- [175] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Dosimetric and Medical Aspects of the Radiological Accident in Goiânia in 1987*, IAEA-TECDOC-1009, IAEA, Vienna (1998).
- [176] GAN, Y., Dealing with an accident involving loss of a ^{137}Cs source for purpose of field well logging, *Radiol. Hyg.*, 4 2 (1989) 82.
- [177] YE, G., et al., Advances in diagnosis and treatment of acute radiation syndrome in China, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 18 5 (1998) 316.
- [178] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, *Publication 86, Prevention of Accidental Exposures to Patients Undergoing Radiation Therapy*, Oxford and New York, Pergamon Press (2001).
- [179] BARANOV, A.E., GUSKOVA, A.K., DAVTIAN, A.A., et al., Protracted overexposure to a ^{137}Cs source: II. Clinical sequelae. *Radiat. Prot. Dosim.* 81 2 (1999) 91–100.
- [180] SEVAN’KAEV, A.V., LLOYD, D.C., EDWARDS, A.A., et al., Protracted overexposure to a ^{137}Cs source: I. Dose reconstruction. *Radiat. Prot. Dosim.* 81 2 (1999) 85–90.
- [181] XU, Z.Y., ZHANG, L.A., DAI, G., The estimation of absorbed doses received by a victim of a Chinese radiation accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 103 2 (2003) 163–167.
- [182] EL-NAGGAR, A.M., MOHAMMAD, M.H.M., GOMAA, M.A., The radiological accident at Meet Halfa, Qaluobiya, Egypt, 2000, *The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness: The Clinical Care of Victims* (RICKS, R.C., BERGER, M.E., O’HARA, F.M., Jr., Eds.). The Parthenon Publishing Group, New York (2002) 319-336.

- [183] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Egypt – Summary, IAEA, Vienna (2000).
- [184] SEVAN'KAEV, A.V., LLOYD, D.C., EDWARDS, A.A., et al., Cytogenic investigations of serious overexposures to an industrial gamma radiography source, *Radiat. Prot. Dosim.* 102 3 (2002) 201–206.
- [185] LU, C.A., FU, B.H., HAN, L., CHEN, Y.H., ZHAO, F.L., Biological dose assessment by the analyses of chromosomal aberrations and CB micronuclei in two victims accidentally exposed to Co-60 gamma-rays, *Hereditas*, 24 (2002) 417–419.
- [186] JIKIA, D., CHKHAIDZE, N., IMEDASHVILI, E., et al., The use of a novel biodegradable preparation capable of the sustained release of bacteriophages and ciprofloxacin, in the complex treatment of multidrug-resistant *Staphylococcus aureus*-infected local radiation injuries caused by exposure to Sr90. *Clin. Exp. Dermatol.* 30 1 (2005) 23–26.
- [187] JIANG, Z.J., XIAO, Y., LI, S.W., One report of sub-acute radiation sickness in a radiation accident caused by Ir-192 source, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 24 (2004) 299.
- [188] BHUSHAN, V., Large radiation exposure, Proc. of the Third International Congress of the International Radiation Protection Association, Washington, 1973. CONF-730907-P1 (1974) 769–772.
- [189] BARON, J.M., YACHNIN, S., PALCYN, R., et al., Accidental radio-gold (198Au) liver scan overdose with fatal outcome, Handling of Radiation Accidents, Proc. of a Symposium, Vienna, 19–23 May 1969, IAEA, Vienna (1969) 399-414.
- [190] METTLER, F.A., Jr., Fatal accidental overdose with radioactive gold in Wisconsin, U.S.A., Medical Management of Radiation Accidents, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.) CRC Press, Boca Raton (2001) 361–362.
- [191] JIN, C., et al., A 10 year follow-up observation of Wuhan individuals exposed to Co source in respect of chromosome aberration, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* 5 1 (1985) 14.
- [192] NÉNOT, J.C., Medical and surgical management for localized radiation injuries, *Int. J. Radiat. Biol.* 57 4 (1990) 783–795.
- [193] NEWMAN, H.F., The Malfunction “54” accelerator accidents 1985, 1986, 1987, The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II: Clinical Experience and Follow-up since 1979 (RICKS, R.C., FRY, S.A., Eds.) Elsevier, New York (1990) 165–171.
- [194] WOULDSTRA, E., HUIZENGA, H., VAN DE POEL, J.A., Possible leakage radiation during malfunctioning of a Sagittaire accelerator, *Radiother. Oncol.* 29 1 (1993) 39–44.
- [195] SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FISICA MEDICA, The accident of the linear accelerator in the Hospital Clinico de Zaragoza, SEFM, Madrid (1991).
- [196] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. NUREG 1480: Loss of an iridium-192 source and therapy misadministration at Indiana Regional Cancer Center Indiana, Pennsylvania, on November 16, 1992. USNRC, Washington, DC (1993).
- [197] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION NRC INFORMATION NOTICE 95–39. USNRC Washington, D.C. (Sept. 1995).
- [198] BORRÁS, C., BARÉS, J.P., RUDDER, D., et.al., Clinical effects in a cohort of cancer patients overexposed during external beam pelvic radiotherapy, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 59 2 (2004) 538–550.
- [199] LIU, C.A., BAI, Y.S., MA, J.F., et al., Biological dose assessment for victim accidentally exposed to Co-60 gamma-rays in Hebi, Henan province, *Chin. J. Radiol. Health*, 14 (2005) 3–5.
- [200] ASH, D. Lessons from Epinal. *Clin. Oncol.* 19 8 (2007) 614–615.
- [201] JOHNSTON, A. (Scientific Advisor), Report of an investigation by the inspector appointed by the Scottish Minister for Ionising Radiation (Medical Exposures) Regulations: Unintended overexposure of patient Lisa Norris during radiotherapy treatment at the Beatson Oncology Centre, Glasgow (January 2006).
- [202] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NRC event notification 43746. USNRC, Washington, D.C. (Oct. 2007).

SIGLES

AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
CCC	Civil Contingencies Committee (Comité de gestion des crises civiles, Royaume-Uni)
COBR	Cabinet Office Briefing Room (Royaume-Uni)
CRIP	Common Information Image Picture (interprétation commune de l'information)
FEMA	Federal Emergency Management Agency (Agence fédérale de gestion des situations d'urgence, États-Unis)
HPA	Health Protection Agency (Agence de protection de la santé, Royaume-Uni)
LRF	Local Resilience Forum (forum local de résilience, Royaume-Uni)
MPS	Metropolitan Police Service (Police de Londres)
NECC	National Emergency Coordination Centre (Centre national de coordination des interventions d'urgence, Royaume-Uni)
NHC	National Hurricane Center (Centre national des ouragans, États-Unis)
NHS	National Health Service (Service national de la santé, Royaume-Uni)
NOI	Niveaux opérationnels d'intervention
NRBC	Incidents nucléaires, radiologiques, biologiques ou chimiques
NRC	Nuclear Regulatory Commission (Commission de réglementation nucléaire, États-Unis)
RWG	Recovery Working Group (Groupe de travail pour le retour à la normale, Royaume-Uni)
SCG	Strategic Coordinating Group (Groupe de la coordination stratégique)
SIA	Syndrome d'irradiation aiguë
TMI	Three Mile Island
USAR	Urban Search and Rescue (recherche et sauvetage en milieu urbain, États-Unis)
WCC	Westminster City Council (Royaume-Uni)

PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN

Agapov, A.	Ministère de l'énergie nucléaire (Fédération de Russie)
Andreev, I.	Forum für Atomfragen (Autriche)
Barabanova, A.	Centre fédéral de biophysique médicale Boumazian (Fédération de Russie)
Blue, C.	Agence de protection de l'environnement (États-Unis d'Amérique)
Bodnár, R.	Centrale nucléaire de Paks (Hongrie)
Boustany, K.	Université du Québec à Montréal (Canada)
Brandl, A.	Division Radioprotection , Seibersdorf (Autriche)
Buglova, E.	Agence internationale de l'énergie atomique
Callen, J.	Agence internationale de l'énergie atomique
Crick, M.J.	Agence internationale de l'énergie atomique
Croft, J.	Royaume-Uni
Deguedre, D.	Association Vinçotte Nucléaire (Belgique)
Dempsey, G.	Agence de protection de l'environnement (États-Unis d'Amérique)
Edwards, P.	Direction de l'industrie nucléaire (Royaume-Uni)
Finck, R.	Institut suédois de radioprotection (Suède)
Garnyk, N.	Ministère de l'énergie atomique (Fédération de Russie)
Gray, E.	Centre national pour la santé environnementale (États-Unis d'Amérique)
Griffiths, H.	Laboratoires de Chalk River (Canada)
Grlicarev, I.	Ministère de l'environnement et de la planification du territoire (Slovénie)
Hadden, R.	Direction de la sûreté nucléaire (Royaume-Uni)

Hänninen, R.	Centre finlandais de radioprotection et de sûreté nucléaire (Finlande)
Hedemann-Jensen	Laboratoire national de Risø (Danemark)
Jouve, A.	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (France)
Kheifets, L.	Organisation mondiale de la santé
Kis, P.	Ministère de l'intérieur (Autriche)
Korn, H.	Bundesamt für Strahlenschutz (Allemagne)
Kromp-Kolb, H.	Forum für Atomfragen (Autriche)
Kutkov, V.	Centre de recherche « Institut Kourtchatov » (Fédération de Russie)
Lafortune, J. F.	International Safety Research (Canada)
Lindell M.K	Université A&M Texas (États-Unis d'Amérique)
Lux, I.	Commission hongroise de l'énergie atomique (Hongrie)
Martinčič, R.	Agence internationale de l'énergie atomique
McColl, N.	Conseil national de protection radiologique (Royaume-Uni)
McKenna, T.	Agence internationale de l'énergie atomique
Mettler, F.A.	Federal Regional Medical Center (États-Unis d'Amérique)
Morrey, M.	Conseil national de protection radiologique (Royaume-Uni)
Nawar, M.	Agence de protection de l'environnement (États-Unis d'Amérique)
Nogueira de Oliveira, C.	Agence internationale de l'énergie atomique
Olsson, R.	Service national d'inspection de l'énergie nucléaire (Suède)
Özbas, E.	Commission turque de l'énergie atomique (Turquie)
Pan, Z.	Commission chinoise de l'énergie atomique (Chine)
Patchett, C.	Direction de la sûreté nucléaire (Royaume-Uni)
Pessoa-Prdellas, C.A.	Ministère des affaires stratégiques (Brésil)

Pretti, J.	Ministère de l'intérieur (France)
Rigney, C.	Agence internationale de l'énergie atomique
Rochedo, E.	Commission nationale de l'énergie nucléaire (Brésil)
Santezzi-Bertotelli- Andreuzza, M.G.	Ministère des affaires stratégiques (Brésil)
Scheffenegger, R.	Chancellerie fédérale (Autriche)
Sinkko, K.T.S.	Centre de radioprotection et de sûreté nucléaire (Finlande)
Souchkevitch, G.	Organisation mondiale de la santé
Susalla, M.	Département de l'énergie (États-Unis d'Amérique)
Tabachnyi, L.	Ministère des situations d'urgence et de la protection du public contre les conséquences de l'accident de Tchernobyl (Ukraine)
Telleria, D.M.	Commission de réglementation nucléaire (Argentine)
Turai, I.	Agence internationale de l'énergie atomique
Vade, S.	Commission européenne
Viktory, D.	Institut national de la santé (Slovaquie)
Woods, D.	Agence internationale de l'énergie atomique
Zähringer, M.	Bundesamt für Strahlenschutz (Allemagne)
Zechner, J.E.	Chancellerie fédérale (Autriche)



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

N° 23

OÙ COMMANDER ?

Dans les pays suivants, vous pouvez vous procurer les publications de l'AIEA disponibles à la vente chez nos dépositaires ci-dessous ou dans les grandes librairies.

Les publications non destinées à la vente doivent être commandées directement à l'AIEA. Les coordonnées figurent à la fin de la liste ci-dessous.

ALLEMAGNE

Goethe Buchhandlung Teubig GmbH

Schweitzer Fachinformationen

Willstaetterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, ALLEMAGNE

Téléphone : +49 (0) 211 49 8740 • Fax : +49 (0) 211 49

Courriel : s.dehaan@schweitzer-online.de • Site web : <http://www.goethebuch.de/>

AUSTRALIE

DA Information Services

648 Whitehorse Road, Mitcham, VIC 3132, AUSTRALIE

Téléphone : +61 3 9210 7777 • Fax : +61 3 9210 7788

Courriel : books@dadirect.com.au • Site web : <http://www.dadirect.com.au>

BELGIQUE

Jean de Lannoy

Avenue du Roi 202, 1190 Bruxelles, BELGIQUE

Téléphone : +32 2 5384 308 • Fax : +32 2 5380 841

Courriel : jean.de.lannoy@euronet.be • Site web : <http://www.jean-de-lannoy.be>

CANADA

Renouf Publishing Co. Ltd.

Téléphone : +1 613 745 2665 • Fax : +1 643 745 7660

5369 Canotek Road, Ottawa, ON K1J 9J3, CANADA

Courriel : order@renoufbooks.com • Site web : <http://www.renoufbooks.com>

Bernan Associates

4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Téléphone : +1 800 865 3457 • Fax : +1 800 865 3450

Courriel : orders@bernan.com • Site web : <http://www.bernan.com>

ESPAGNE

Diaz de Santos, S.A.

Librerias Bookshop • Departamento de pedidos

Calle Albasanz 2, esquina Hermanos Garcia Noblejas 21, 28037 Madrid, ESPAGNE

Téléphone : +34 917 43 48 90

Courriel : compras@diazdesantos.es • Site web : <http://www.diazdesantos.es/>

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Bernan Associates

4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Téléphone : +1 800 865 3457 • Fax : +1 800 865 3450

Courriel : orders@bernan.com • Site web : <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Co. Ltd.

812 Proctor Avenue, Ogdensburg, NY 13669, ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Téléphone : +800 551 7470 (numéro vert) • +800 568 8546 (numéro vert)

Courriel : orders@renoufbooks.com • Site web : <http://www.renoufbooks.com>

FINLANDE

Akateeminen Kirjakauppa

PO Box 128 (Keskuskatu 1), 00101 Helsinki, FINLANDE

Téléphone : +358 9 121 41 • Fax : +358 9 121 4450

Courriel : akatilaus@akateeminen.com • Site web : <http://www.akateeminen.com>

FRANCE

Form-Edit

5, rue Janssen, B.P. 25, 75921 Paris CEDEX, FRANCE

Téléphone : +33 1 42 01 49 49 • Fax : +33 1 42 01 90 90

Courriel : fabien.boucard@formedit.fr • Site web : <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS

14, rue de Provigny, 94236 Cachan CEDEX, FRANCE

Téléphone : +33 1 47 40 67 00 • Fax : +33 1 47 40 67 02

Courriel : livres@lavoisier.fr • Site web : <http://www.lavoisier.fr>

L'Appel du livre

99, rue de Charonne, 75011 Paris, FRANCE

Téléphone : +33 1 43 07 50 80 • Fax : +33 1 43 07 50 80

Courriel : livres@appeldulivre.fr • Site web : <http://www.appeldulivre.fr>

HONGRIE

Librotade Ltd., Book Import

PF 126, 1656 Budapest, HONGRIE

Téléphone : +36 1 257 7777 • Fax : +36 1 257 7472

Courriel : books@librotade.hu • Site web : <http://www.librotade.hu>

INDE

Allied Publishers Pvt. Ltd.

1st Floor, Dubash House, 15 J.N. Heredi Marg

Ballard Estate, Mumbai 400001, INDE

Téléphone : +91 22 42126969/31 • Fax : +91 22 2261 7928

Courriel : arjunsachdev@alliedpublishers.com • Site web : <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell

3/79 Nirankari, Dehli 110009, INDE

Téléphone : +91 11 2760 1283 • +91 11 27604536

Courriel : bkwell@nde.vsnl.net.in • Site web : <http://www.bookwellindia.com/>

ITALIE

Libreria Scientifica "AEIOU"

Via Vincenzo Maria Coronelli 6, 20146 Milan, ITALIE

Téléphone : +39 02 48 95 45 52 • Fax : +39 02 48 95 45 48

Courriel : info@libreriaaeiou.eu • Site web : <http://www.libreriaaeiou.eu/>

JAPON

Maruzen Co., Ltd.

1-9-18 Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022, JAPON

Téléphone : +81 3 6367 6047 • Fax : +81 3 6367 6160

Courriel : journal@maruzen.co.jp • Site web : <http://maruzen.co.jp>

PAYS-BAS

Martinus Nijhoff International

Koraalrood 50, Postbus 1853, 2700 CZ Zoetermeer, PAYS-BAS

Téléphone : +31 793 684 400 • Fax : +31 793 615 698

Courriel : info@nijhoff.nl • Site web : <http://www.nijhoff.nl>

Swets

PO Box 26, 2300 AA Leiden

Dellaertweg 9b, 2316 WZ Leiden, PAYS-BAS

Téléphone : +31 88 4679 263 • Fax : +31 88 4679 388

Courriel : tbeysens@nl.swets.com • Site web : www.swets.com

RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

Suweco CZ, spol. S.r.o.

Klecakova 347, 180 21 Prague 9, RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

Téléphone : +420242 459 202 • Fax : +420 242 459 203

Courriel : nakup@suweco.cz • Site web : <http://www.suweco.cz>

ROYAUME-UNI

The Stationery Office Ltd. (TSO)

PO Box 29, Norwich, Norfolk, NR3 1PD, ROYAUME-UNI

Téléphone : +44 870 600 5552

Courriel (commandes) : books.orders@tso.co.uk • (renseignements) : book.enquiries@tso.co.uk •

Site web : <http://www.tso.co.uk>

Commandes en ligne :

DELTA International Ltd.

39, Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ, ROYAUME-UNI

Courriel : info@profbooks.com • Site web : <http://www.profbooks.com>

SLOVÉNIE

Cankarjeva Založba dd

Kopitarjeva 2, 1515 Ljubljana, SLOVÉNIE

Téléphone : +386 1 432 31 44 • Fax : +386 1 230 14 35

Courriel : import.books@cankarjeva-z.si • Site web : http://www.mladska.com/cankarjeva_zalozba

NATIONS UNIES (ONU)

300 East 42nd Street, IN-919J, New York, NY 1001, ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Téléphone : +1 212 963 8302 • Fax : +1 212 963 3489

Courriel : publications@un.org • Site web : <http://www.unp.un.org>

Les commandes de publications destinées ou non à la vente peuvent être adressées directement à :

Section d'édition de l'AIEA, Unité de la promotion et de la vente,

Agence internationale de l'énergie atomique,

Centre international de Vienne, B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)

Téléphone : +43 1 2600 22529 (ou 22488) • Fax : +43 1 2600 29302

Courriel : sales.publications@iaea.org • Site web : <http://www.iaea.org/books>

