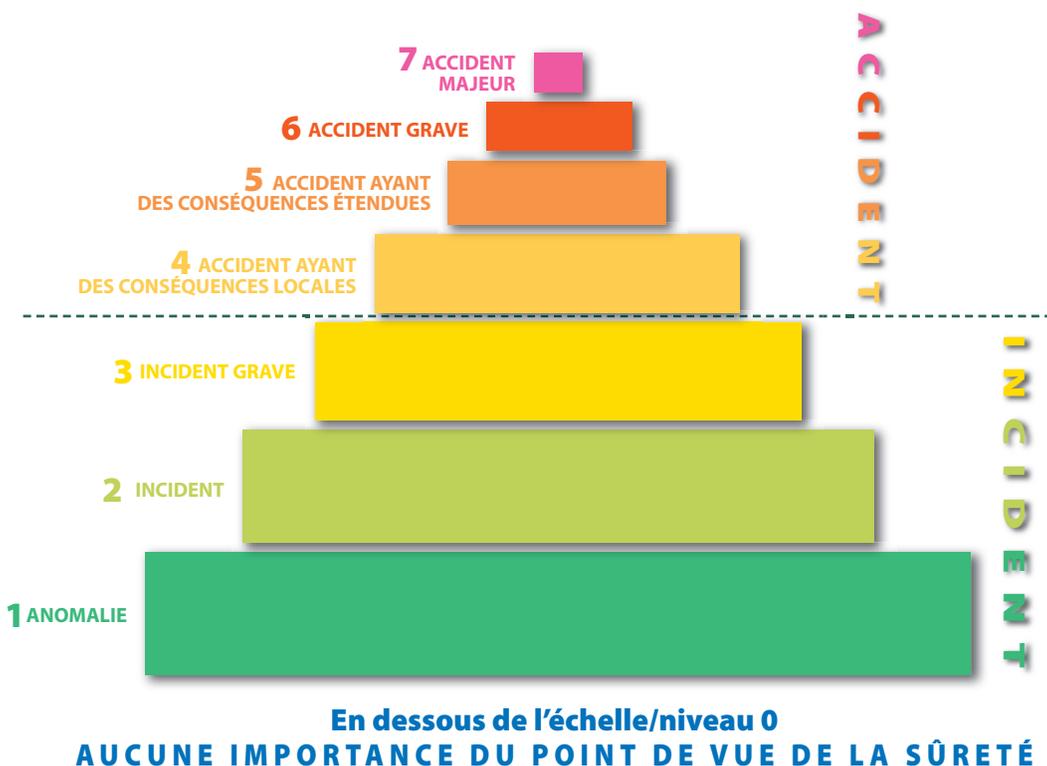


# INES

Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques

## Manuel de l'utilisateur

Édition 2008



Établi conjointement  
par l'AIEA et l'AEN



**IAEA**

Agence internationale de l'énergie atomique

INES  
ÉCHELLE INTERNATIONALE  
DES ÉVÉNEMENTS NUCLÉAIRES  
ET RADIOLOGIQUES  
MANUEL DE L'UTILISATEUR

Édition 2008



INES  
ÉCHELLE INTERNATIONALE  
DES ÉVÉNEMENTS NUCLÉAIRES  
ET RADIOLOGIQUES  
MANUEL DE L'UTILISATEUR

ÉDITION 2008

ÉTABLI CONJOINTEMENT PAR  
L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE  
ET L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE  
VIENNE, 2011

## **DROIT D'AUTEUR**

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

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

© AIEA, 2011

Imprimé par l'AIEA en 2011  
IAEA-INES-2009

## AVANT-PROPOS

La nécessité de communiquer rapidement sur l'importance d'un événement lié à l'exploitation d'installations nucléaires ou à l'exercice d'activités comportant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants a été mise en évidence dans les années 80 à la suite de plusieurs accidents survenus dans des installations nucléaires et qui ont attiré l'attention des médias internationaux. Pour y répondre, et en se fondant sur l'expérience nationale déjà acquise par certains pays, des propositions ont été faites pour l'établissement d'une échelle internationale de classement d'événements comparable à celles qui existaient déjà dans d'autres domaines (comme celles relatives aux tremblements de terre), pour que la communication sur les risques radiologiques associés à un événement particulier puisse être cohérente d'un pays à l'autre.

L'Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques (INES) a été conçue en 1990 par un groupe d'experts internationaux réunis par l'AIEA et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) pour communiquer sur le niveau d'importance pour la sûreté des événements survenant dans les installations nucléaires. Depuis, le champ de l'INES a été étendu pour répondre aux besoins croissants de communication sur l'importance de tout événement entraînant des risques radiologiques. Pour mieux répondre aux attentes du public, l'INES a été revue en 1992 à la lumière de l'expérience acquise et son champ élargi pour pouvoir être utilisée dans le cas d'événements associés aux matières radioactives et/ou entraînant une exposition aux rayonnements, y compris pendant le transport des matières radioactives. En 2001, une édition mise à jour du manuel de l'utilisateur de l'INES a été publiée pour préciser l'utilisation de l'INES et affiner le classement des événements liés au transport et au cycle du combustible. Cependant, il était évident que de nouvelles orientations étaient nécessaires et étaient d'ailleurs en cours d'élaboration, en particulier pour les événements liés au transport. D'autres travaux sur les conséquences potentielles et réelles des événements liés aux sources de rayonnements et au transport se sont poursuivis en Espagne et en France. À la demande des utilisateurs de l'INES, les secrétariats de l'AIEA et de l'AEN ont coordonné la préparation d'un manuel intégré fournissant de nouvelles indications pour le classement des événements associés aux sources de rayonnements et au transport de matières radioactives.

Cette nouvelle édition du manuel de l'utilisateur de l'INES intègre des orientations et des clarifications supplémentaires, et contient des exemples et des commentaires sur l'utilisation courante de l'INES. Elle remplace les éditions précédentes. Elle présente des critères de classement de tout événement associé aux rayonnements et aux matières radioactives, y compris les événements liés au transport. Le manuel est présenté de manière à faciliter la tâche de ceux qui

doivent évaluer l'importance des événements pour la sûreté en utilisant l'INES pour la communication avec le public.

Actuellement, le réseau de communication INES reçoit et diffuse des informations sur les événements et leur classement INES aux responsables nationaux INES de plus de 60 États Membres. Chaque pays participant à l'INES a mis en place un réseau qui permet de classer rapidement les événements et de communiquer que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur du pays. Sur demande, l'AIEA propose des services de formation à l'utilisation de l'INES et encourage les États Membres à rejoindre le système.

Le présent manuel est le résultat des efforts fournis par le comité consultatif INES et par les responsables nationaux INES représentant les pays participants. La contribution de tous ceux qui ont participé à la rédaction et à la révision du manuel est grandement appréciée. L'AIEA et l'AEN expriment leur gratitude aux membres du comité consultatif INES pour leurs efforts lors de la révision de la publication. L'AIEA remercie S. Mortin de son assistance pour la préparation de la publication et J. Gauvain, son correspondant à l'AEN, pour sa coopération. Elle exprime aussi sa gratitude aux gouvernements de l'Espagne et des États-Unis d'Amérique pour la mise à disposition de fonds extrabudgétaires.

La responsable AIEA de la publication est R. Spiegelberg Planer du Département de la sûreté et de la sécurité nucléaires.

#### NOTE DE L'ÉDITEUR

*Bien qu'un soin particulier ait été pris pour assurer la précision des informations contenues dans la présente publication, l'AIEA, tout comme ses États Membres, déclinent toute responsabilité relativement aux conséquences pouvant dériver de son utilisation.*

*L'utilisation de désignations particulières de pays ou de territoires ne suppose aucun jugement de l'éditeur, l'AIEA, concernant le statut juridique de ces pays ou territoires, de leurs autorités et institutions ou de la délimitation de leurs frontières.*

*La mention de noms d'entreprises ou de produits spécifiques (qu'il soit ou non précisé qu'ils sont enregistrés) n'implique aucune intention de porter atteinte aux droits de propriété et ne doit pas non plus être interprétée comme un soutien ou une recommandation de la part de l'AIEA.*

# TABLE DES MATIÈRES

1.	APERÇU DE L'INES .....	1
1.1.	Généralités .....	1
1.2.	Description générale de l'échelle .....	1
1.3.	Champ d'application de l'échelle .....	4
1.4.	Principes des critères de l'ines .....	5
1.4.1.	Population et environnement .....	5
1.4.2.	Barrières et contrôles radiologiques .....	6
1.4.3.	Défense en profondeur .....	6
1.4.4.	Le classement final .....	8
1.5.	Utilisation de l'échelle .....	8
1.6.	Communication d'informations sur les événements .....	10
1.6.1.	Principes généraux .....	10
1.6.2.	Communications internationales .....	11
1.7.	Structure du manuel .....	13
2.	IMPACT SUR LA POPULATION ET L'ENVIRONNEMENT .....	15
2.1.	Description générale .....	15
2.2.	Activité rejetée .....	16
2.2.1.	Méthodes d'évaluation des rejets .....	16
2.2.2.	Définition des niveaux sur la base de l'activité rejetée ..	18
2.3.	Doses aux personnes .....	20
2.3.1.	Critères d'évaluation du classement minimum si une personne est exposée .....	20
2.3.2.	Critères de prise en compte du nombre de personnes exposées .....	21
2.3.3.	Méthodologie d'estimation des doses .....	22
2.3.4.	Résumé .....	23
2.4.	Exemples étudiés .....	24
3.	IMPACT SUR LES BARRIÈRES ET CONTRÔLES RADIOLOGIQUES DANS LES INSTALLATIONS .....	32
3.1.	Description générale .....	32
3.2.	Définition des niveaux .....	33

3.3.	Calcul de l'équivalence radiologique . . . . .	36
3.4.	Exemples étudiés . . . . .	38
4.	ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR LA DÉFENSE EN PROFONDEUR POUR LES ÉVÉNEMENTS LIÉS AU TRANSPORT ET AUX SOURCES DE RAYONNEMENTS . . . . .	44
4.1.	Principes généraux de classement des événements . . . . .	45
4.2.	Indications détaillées pour le classement des événements . . . . .	46
4.2.1.	Identification des conséquences potentielles maximales . . . . .	46
4.2.2.	Classement basé sur l'efficacité des dispositions de sûreté . . . . .	49
4.3.	Exemples étudiés . . . . .	58
5.	ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR LA DÉFENSE EN PROFONDEUR POUR LES ÉVÉNEMENTS SURVENUS DANS DES RÉACTEURS DE PUISSANCE EN FONCTIONNEMENT . . . . .	71
5.1.	Établissement du classement de base compte tenu de l'efficacité des dispositions de sûreté . . . . .	72
5.1.1.	Détermination de la fréquence des initiateurs . . . . .	74
5.1.2.	Disponibilité des fonctions de sûreté . . . . .	76
5.1.3.	Évaluation du classement de base d'événements avec initiateur réel . . . . .	78
5.1.4.	Évaluation du classement de base d'événements sans initiateur réel . . . . .	81
5.1.5.	Événements potentiels (y compris les défauts de structure) . . . . .	84
5.1.6.	Événements classés en dessous de l'échelle/niveau 0 . . . . .	85
5.2.	Prise en compte des facteurs supplémentaires . . . . .	85
5.2.1.	Défaillances de cause commune . . . . .	86
5.2.2.	Procédures inadéquates . . . . .	86
5.2.3.	Problèmes de culture de sûreté . . . . .	87
5.3.	Exemples étudiés . . . . .	89
6.	ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR LA DÉFENSE EN PROFONDEUR POUR LES ÉVÉNEMENTS SURVENUS DANS DES INSTALLATIONS PARTICULIÈRES . . . . .	108

6.1.	Principes généraux de classement des événements . . . . .	109
6.2.	Indications détaillées pour le classement des événements . . . . .	110
6.2.1.	Identification des conséquences potentielles maximales . . . . .	110
6.2.2.	Détermination du nombre de lignes de défense . . . . .	112
6.2.3.	Détermination du classement de base . . . . .	116
6.2.4.	Prise en compte des facteurs supplémentaires . . . . .	119
6.3.	Utilisation de « l'approche lignes de défense » pour certains types d'événements . . . . .	123
6.3.1.	Événements comportant des défaillances des systèmes de refroidissement pendant l'arrêt d'un réacteur . . . . .	123
6.3.2.	Événements comportant des défaillances des systèmes de refroidissement de la piscine à combustible usé . . . . .	123
6.3.3.	Maîtrise de la criticité . . . . .	124
6.3.4.	Rejet ou dissémination non autorisé de contamination . . . . .	125
6.3.5.	Surveillance dosimétrique . . . . .	125
6.3.6.	Verrouillage des accès aux enceintes blindées . . . . .	126
6.3.7.	Défaillance des systèmes de ventilation d'extraction, de filtration et d'épuration. . . . .	126
6.3.8.	Événements concernant la manutention et la chute de charges lourdes. . . . .	127
6.3.9.	Perte de l'alimentation électrique . . . . .	128
6.3.10.	Incendies et explosions . . . . .	129
6.3.11.	Risques extérieurs . . . . .	130
6.3.12.	Défaillances des systèmes de refroidissement . . . . .	130
6.4.	Exemples étudiés . . . . .	130
6.4.1.	Événements lors de l'arrêt d'un réacteur de puissance . . . . .	130
6.4.2.	Événements dans des installations autres que des réacteurs de puissance . . . . .	138
7.	PROCÉDURE DE CLASSEMENT . . . . .	152
	APPENDICE I : CALCUL DE L'ÉQUIVALENCE RADIOLOGIQUE . . . . .	163
	APPENDICE II : NIVEAUX DE SEUIL POUR LES EFFETS DÉTERMINISTES . . . . .	168
	APPENDICE III : VALEURS D POUR CERTAINS ISOTOPES . . . . .	172

APPENDICE IV : CATÉGORISATION DES SOURCES RADIOACTIVES UTILISÉES DANS DES PRATIQUES COURANTES .....	176
RÉFÉRENCES .....	179
ANNEXE I : DÉFENSE EN PROFONDEUR .....	181
ANNEXE II : EXEMPLES D'INITIATEURS ET LEUR FRÉQUENCE .....	185
ANNEXE III : LISTE DES PAYS ET DES ORGANISATIONS PARTICIPANTS .....	192
GLOSSAIRE.....	195
LISTE DES FIGURES .....	205
LISTE DES TABLEAUX .....	207
LISTE DES EXEMPLES .....	209
PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN DU TEXTE.....	213

# 1. APERÇU DE L'INES

## 1.1. GÉNÉRALITÉS

L'Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques est un moyen d'informer le public rapidement et de façon cohérente sur l'importance pour la sûreté des événements associés à des sources de rayonnements. Elle couvre un large spectre de pratiques, incluant les utilisations industrielles comme la radiographie, l'utilisation de sources de rayonnements dans les hôpitaux, les activités dans les installations nucléaires et le transport de matières radioactives. En replaçant les événements résultant de toutes ces pratiques dans une juste perspective, l'utilisation de l'INES peut faciliter la compréhension mutuelle entre la communauté technique, les médias et le public.

L'échelle a été conçue en 1990 par un groupe international d'experts réunis conjointement par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN). À l'origine, elle tenait compte en outre des enseignements tirés de l'emploi d'échelles analogues en France et au Japon et des échelles envisagées dans plusieurs autres pays. Depuis, l'AIEA a géré son évolution en coopération avec l'AEN et avec l'appui de plus de 60 responsables nationaux désignés qui représentent officiellement les États participant à l'INES lors de la réunion technique biennale consacrée à l'INES.

À l'origine, l'échelle a été appliquée pour classer les événements survenant dans des centrales nucléaires, puis a été étendue et adaptée de manière à pouvoir être appliquée à toutes les installations associées à l'industrie nucléaire civile. Plus récemment, elle a été encore étendue et adaptée pour répondre au besoin croissant de communication sur l'importance de tous les événements associés au transport, à l'entreposage et à l'utilisation de matières radioactives et de sources de rayonnements. Le présent manuel révisé rassemble toutes les orientations concernant l'ensemble des utilisations dans un document unique.

## 1.2. DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'ÉCHELLE

Les événements sont classés sur l'échelle selon sept niveaux. Les niveaux 4 à 7 correspondent aux « accidents » et les niveaux 1 à 3 aux « incidents ». Les événements sans importance pour la sûreté sont classés « en dessous de l'échelle/niveau 0 ». Les événements qui n'ont pas de rapport avec la sûreté radiologique ou nucléaire ne sont pas classés sur l'échelle (voir la section 1.3.).

Pour l'information du public sur les événements, un nom spécifique a été attribué à chaque niveau de l'INES. Dans l'ordre croissant de gravité, on trouve : « anomalie », « incident », « incident grave », « accident ayant des conséquences locales », « accident ayant des conséquences étendues »<sup>1</sup>, « accident grave » et « accident majeur ».

Lors de la définition de l'échelle, un des objectifs était que la gravité d'un événement devait augmenter d'environ un ordre de grandeur pour chaque augmentation de niveau de l'échelle (c'est-à-dire que l'échelle est logarithmique). L'accident de 1986 à la centrale nucléaire de Tchernobyl est classé au niveau 7 sur l'INES. Il a eu un impact très étendu sur la population et l'environnement. Une des considérations principales pour l'élaboration des critères de classement de l'INES a été de s'assurer que le niveau d'importance d'événements moins graves et plus localisés soit clairement distingué de cet accident très grave. C'est ainsi que l'accident de 1979 à la centrale nucléaire de Three Mile Island est classé au niveau 5 sur l'INES et qu'un événement résultant en un seul décès radio-induit est classé au niveau 4.

La structure de l'échelle est indiquée dans le tableau 1. Les événements sont considérés sous l'angle de leur impact dans trois domaines différents : impact sur la population et l'environnement, impact sur les barrières et les contrôles radiologiques dans les installations et impact sur la défense en profondeur. Les niveaux sont définis en détail dans les chapitres suivants du présent manuel.

L'impact sur la population et l'environnement peut être localisé (exposition d'une ou de quelques personnes proches du lieu de l'événement, par exemple) ou plus étendu (rejet de matières radioactives à partir d'une installation, par exemple). L'impact sur les barrières et les contrôles radiologiques dans les installations ne concerne que des installations utilisant de grandes quantités de matières radioactives comme les réacteurs de puissance, les usines de retraitement, les réacteurs de recherche de grande puissance ou les grandes installations de production de sources radioactives. Les événements couverts sont, par exemple, la fusion du cœur d'un réacteur et le déversement de quantités importantes de matières radioactives résultant d'une défaillance des barrières radiologiques et menaçant la population et l'environnement. Les événements classés sous ces deux angles (« population et environnement » et « barrières et contrôles radiologiques ») sont décrits dans le présent manuel comme des événements ayant des « conséquences réelles ». La dégradation de la défense en profondeur couvre principalement les événements qui n'ont pas de conséquences

---

<sup>1</sup> Par exemple, un rejet à partir d'une installation pouvant déclencher une action protectrice, ou plusieurs décès résultant d'une grande source radioactive abandonnée.

**TABEAU 1. CRITÈRES GÉNÉRAUX DE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS**

Description et niveau INES	Population et environnement	Barrières et contrôles radiologiques dans les installations	Défense en profondeur
<b>Accident majeur Niveau 7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rejet majeur de matières radioactives avec des effets considérables sur la santé et l'environnement exigeant la mise en œuvre des contre-mesures prévues, voire plus.</li> <li>- Rejet important de matières radioactives exigeant probablement la mise en œuvre de certaines des contre-mesures prévues.</li> <li>- Plusieurs décès radio-induits.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Endommagement grave du cœur du réacteur.</li> <li>- Rejet de grandes quantités de matières radioactives dans l'installation avec une probabilité élevée d'exposition importante du public. Ceci pourrait résulter d'un accident de criticité ou d'un incendie majeur.</li> </ul>	
<b>Accident grave Niveau 6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rejet limité de matières radioactives exigeant probablement la mise en œuvre de certaines des contre-mesures prévues.</li> <li>- Plusieurs décès radio-induits.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fusion ou endommagement du combustible provoquant le rejet de plus de 0,1 % de la radioactivité du cœur.</li> <li>- Rejet de quantités importantes de matières radioactives dans l'installation avec une probabilité élevée d'exposition importante du public.</li> </ul>	
<b>Accident ayant des conséquences étendues Niveau 5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rejet mineur de matières radioactives n'exigeant probablement pas la mise en œuvre des contre-mesures prévues autres que la surveillance des aliments locaux.</li> <li>- Au moins un décès radio-induit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débits d'exposition de plus de 1 Sv/h dans une zone de travail.</li> <li>- Contamination grave d'une zone censée ne pas être contaminée de par sa conception, avec une faible probabilité d'exposition importante du public.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accident évité de peu dans une centrale nucléaire avec défaillance de toutes les dispositions en matière de sûreté.</li> <li>- Perte ou vol de sources scellées de haute activité.</li> <li>- Erreur de livraison d'une source scellée de haute activité, sans procédures adéquates pour y faire face.</li> </ul>
<b>Incident grave Niveau 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposition dépassant dix fois la limite annuelle réglementaire pour les travailleurs.</li> <li>- Effets sanitaires déterministes non létaux (brûlures, par exemple) radio-induits.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensité de rayonnement dans une zone de travail dépassant 50 mSv/h.</li> <li>- Contamination importante dans une installation d'une zone d'une installation censée ne pas être contaminée de par sa conception.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Défaillances importantes des dispositions en matière de sûreté sans conséquences réelles.</li> <li>- Découverte d'une source scellée orpheline, d'un appareil ou d'un colis de haute activité sans défaillance des dispositions en matière de sûreté.</li> <li>- Emballage incorrect d'une source scellée de haute activité.</li> </ul>
<b>Incident Niveau 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposition d'un membre du public dépassant 10 mSv.</li> <li>- Exposition d'un travailleur dépassant les limites annuelles réglementaires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surexposition d'un membre du public dépassant les limites annuelles réglementaires.</li> <li>- Problèmes mineurs liés aux composants de sûreté, avec maintien d'une solide défense en profondeur.</li> <li>- Perte ou vol d'une source, d'un appareil ou d'un colis de faible activité.</li> </ul>	
<b>Anomalie Niveau 1</b>			
Aucune importance du point de vue de la sûreté (en dessous de l'échelle/niveau 0)			

réelles, mais pour lesquels lors desquels les mesures mises en place pour éviter les accidents ou y faire face n'ont pas fonctionné comme prévu.

Le niveau 1 ne couvre que la dégradation de la défense en profondeur. Les niveaux 2 et 3 couvrent des dégradations plus graves de la défense en profondeur ou bien des événements ayant de faibles conséquences réelles sur les personnes ou les installations. Les niveaux 4 à 7 couvrent les événements ayant des conséquences réelles de plus en plus graves sur les personnes, l'environnement ou les installations.

Bien que l'INES couvre une large gamme de pratiques, les événements associés à certaines pratiques ne peuvent pas atteindre les niveaux les plus élevés de l'échelle. Ainsi, des événements liés au transport de sources utilisées en radiographie industrielle ne pourront jamais être classés au-delà du niveau 4, même si la source a été prise et manipulée incorrectement.

### 1.3. CHAMP D'APPLICATION DE L'ÉCHELLE

L'échelle peut être appliquée à tout événement associé au transport, à l'entreposage et à l'utilisation de matières radioactives et de sources de rayonnements. Elle s'applique que l'événement ait eu lieu dans une installation ou en dehors. Elle inclut la perte ou le vol de sources radioactives ou de colis et la découverte de sources orphelines, telles que les sources qui aboutissent fortuitement dans le commerce de ferraille. L'échelle peut aussi être utilisée pour des événements impliquant une exposition accidentelle de personnes dans le cadre d'autres pratiques réglementées (comme le traitement de minéraux).

L'échelle n'est censée être utilisée que pour des applications civiles (non militaires) et ne traite que des aspects relatifs à la sûreté d'un événement. Elle n'est pas censée être utilisée pour le classement d'événements liés à la sécurité ou d'actes malveillants consistant à exposer délibérément la population à des rayonnements.

Quand un appareil est utilisé à des fins médicales (par exemple, radiodiagnostic ou radiothérapie), les indications données dans le présent manuel peuvent servir à classer des événements ayant pour conséquence l'exposition réelle de travailleurs et de membres du public, ou impliquant la dégradation de l'appareil ou des dispositions de sûreté. Actuellement, l'échelle ne couvre pas les conséquences potentielles ou réelles de l'exposition des patients dans le cadre d'une procédure médicale. Il est admis qu'il faut compléter l'INES à cet égard et la question sera traitée ultérieurement.

L'échelle ne s'applique pas à tous les événements survenant dans une installation nucléaire ou radiologique. Elle n'est pas applicable à des événements uniquement associés à la sûreté industrielle ou à d'autres événements qui n'ont

pas de rapport avec la sûreté nucléaire ou radiologique. Par exemple, des événements entraînant uniquement un risque chimique, comme un rejet gazeux de matières non radioactives, ou un événement comme une chute ou un choc électrique provoquant des blessures ou le décès d'un travailleur dans une installation nucléaire ne seront pas classés en utilisant cette échelle. De même, des événements affectant la disponibilité d'une turbine ou d'un alternateur, s'ils ne compromettent pas la sûreté du réacteur en fonctionnement, ne seront pas classés sur l'échelle, pas plus qu'un incendie qui n'entraînerait pas de risque radiologique et n'affecterait pas d'équipements associés à la sûreté radiologique ou nucléaire.

#### 1.4. PRINCIPES DES CRITÈRES DE L'INES

Chaque événement doit être examiné sous les trois angles mentionnés dans la section 1.2., à savoir : population et environnement, barrières et contrôles radiologiques, et défense en profondeur. L'événement est alors classé au niveau le plus élevé atteint sous l'un des trois angles. Les sections suivantes décrivent brièvement les principes d'évaluation de l'impact dans chaque cas.

##### 1.4.1. Population et environnement

L'approche la plus simple pour classer les conséquences réelles sur la population serait de se baser sur les doses reçues. Cependant, pour les accidents, cette approche pourrait ne pas être appropriée pour prendre en compte l'ensemble des conséquences. Par exemple, la mise en œuvre efficace de mesures d'urgence telles que l'évacuation des personnes du public peut aboutir à des doses relativement faibles, même en cas d'accident important dans une installation. Classifier un tel événement en fonction uniquement des doses reçues ne donne donc pas une idée de l'importance véritable de ce qui s'est produit dans l'installation et ne tient pas compte non plus du risque de contamination étendue. Pour les niveaux « accident » de l'INES (4 à 7), les critères ont donc été définis sur la base de la quantité de matières radioactives rejetées, plutôt que des doses effectivement reçues. Il est évident que ces critères ne s'appliquent que lorsqu'il y a un risque de dispersion de grandes quantités de matières radioactives.

Pour tenir compte des nombreuses caractéristiques des matières radioactives qui pourraient être rejetées, l'échelle utilise le principe « d'équivalence radiologique ». C'est ainsi que la quantité est définie en térabecquerels de  $^{131}\text{I}$  et des facteurs de conversion sont appliqués pour déterminer le niveau équivalent d'autres isotopes produisant la même dose efficace.

Dans le cas d'événements ayant de plus faibles conséquences sur la population et l'environnement, le classement est basé sur les doses reçues et le nombre de personnes exposées.

(Les critères concernant les rejets étaient précédemment désignés comme critères « hors du site »).

#### **1.4.2. Barrières et contrôles radiologiques**

Dans le cas des grandes installations pouvant (avec une faible probabilité) être à l'origine de forts rejets de radioactivité, pour lesquelles le périmètre du site est clairement défini dans la licence, il est possible d'avoir un événement caractérisé par des défaillances considérables des barrières radiologiques mais n'ayant aucune conséquence significative sur la population et l'environnement (par exemple, fusion du cœur sans rejet de matières radioactives hors du confinement). Il est aussi possible d'avoir dans ce genre d'installation un événement ayant pour conséquence une forte augmentation de la contamination ou des rayonnements, mais pour lequel la défense en profondeur reste suffisante pour limiter les conséquences sur la population et l'environnement. Dans les deux cas, il n'y a pas de conséquences importantes pour les personnes en dehors du périmètre du site, mais, dans le premier cas, la probabilité de telles conséquences augmente et, dans le second cas, les défaillances représentent une défaillance majeure de la gestion des contrôles radiologiques. Il est important que le classement de ces événements sur l'INES tienne compte de ces aspects.

Ces critères ne s'appliquent qu'à des installations autorisées manipulant de grandes quantités de matières radioactives. (Associés aux critères de dose pour les travailleurs, ils constituaient précédemment les critères « sur site ».) Pour les événements mettant en jeu des sources de rayonnements ou liés au transport de matières radioactives, seuls les critères concernant la population et l'environnement ainsi que la défense en profondeur doivent être pris en compte.

#### **1.4.3. Défense en profondeur**

L'INES a été conçue pour s'appliquer à tous les événements radiologiques et à tous les événements en rapport avec la sûreté nucléaire ou radiologique, dont la très grande majorité a pour origine des défaillances d'équipements ou de procédures. Bien que beaucoup de ces événements n'aient pas de conséquences réelles, il est admis que certains sont plus importants pour la sûreté que d'autres. Si les événements de ce type étaient uniquement classés en se fondant sur les conséquences réelles, ils seraient tous « en dessous de l'échelle/niveau 0 » et l'échelle ne permettrait pas vraiment de les placer dans leur juste contexte. Lors de son lancement, il a donc été convenu que l'INES ne devait pas seulement

couvrir les conséquences réelles, mais aussi les conséquences potentielles des événements.

Un jeu de critères a été élaboré pour prendre en compte ce qu'il est convenu d'appeler la « dégradation de la défense en profondeur ». Ces critères reposent sur le fait que toutes les applications comportant le transport, l'entreposage et l'utilisation de matières radioactives et de sources de rayonnements incluent un certain nombre de dispositions de sûreté. Leur nombre et leur fiabilité dépendent de leur conception et de l'ampleur du risque. Des événements peuvent s'accompagner de la défaillance de certaines dispositions de sûreté alors que d'autres dispositions évitent des conséquences réelles. Pour communiquer sur l'importance de ce type d'événements, des critères ont été définis à partir de la quantité de matières radioactives en jeu et de la gravité de la défaillance des dispositions de sûreté.

Puisque ces événements n'impliquent que l'augmentation de la probabilité qu'un accident se produise, sans conséquences réelles, ils sont classés au maximum au niveau 3 (incident grave). De plus, ce niveau maximum ne s'applique qu'aux pratiques où, si toutes les dispositions de sûreté étaient défaillantes, il y aurait un risque d'accident important (c'est-à-dire qui serait classé aux niveaux 5, 6 ou 7 de l'INES). Pour les événements associés à des pratiques présentant un risque beaucoup plus faible (comme le transport de petites sources radioactives à usage médical ou industriel), le classement maximum au titre de la défense en profondeur est proportionnellement plus bas.

Une dernière question prise en compte dans la défense en profondeur est ce que l'on appelle dans le présent document facteurs supplémentaires, qui concernent selon le cas les défaillances de cause commune, des problèmes de procédures ou la culture de sûreté. Pour prendre en compte ces facteurs supplémentaires, les critères permettent d'augmenter le classement d'un niveau par rapport au classement résultant de la seule prise en compte de l'importance des défaillances réelles des équipements ou des procédures administratives. (Il faut remarquer que pour les événements liés à des sources de rayonnements et au transport de matières radioactives, la possibilité d'augmenter le niveau du fait de facteurs supplémentaires est intégrée dans les tableaux de classement et ne fait pas l'objet d'un processus séparé.)

Les critères détaillés élaborés pour mettre en œuvre ces principes sont définis dans le présent document. Trois approches spécifiques mais cohérentes sont utilisées ; une pour les événements relatifs au transport et aux sources de rayonnements, une pour les événements survenant dans des réacteurs de puissance en fonctionnement et une pour les événements concernant d'autres installations autorisées (y compris les événements survenant dans des réacteurs en arrêt à froid, dans des réacteurs de recherche et lors du démantèlement d'installations nucléaires). C'est la raison pour laquelle la défense en profondeur

fait l'objet de trois chapitres distincts correspondant à chacune des approches. Chaque chapitre forme un tout, ce qui permet à l'utilisateur de disposer d'indications pertinentes à propos des événements qui l'intéressent.

Les critères relatifs aux événements liés au transport et aux sources de rayonnements sont présentés dans un ensemble de tableaux combinant les trois éléments de la défense en profondeur présentés plus haut (à savoir, la quantité de matières radioactives, l'ampleur de la défaillance des dispositions de sûreté et les facteurs supplémentaires).

Les critères relatifs aux réacteurs de puissance en fonctionnement permettent un classement de base de l'événement à partir de deux tableaux et offrent la possibilité d'appliquer un facteur supplémentaire visant à augmenter le classement d'un niveau. Le classement de base à partir des tableaux dépend du fait de savoir si les dispositions de sûreté ont été réellement compromises, de l'étendue des dégradations des dispositions de sûreté et de la probabilité qu'un événement affecte ces dispositions.

Les critères relatifs aux événements concernant les réacteurs en arrêt à froid, les réacteurs de recherche et les autres installations autorisées donnent un classement de base à partir d'un tableau, en fonction des conséquences maximales dans le cas où toutes les dispositions de sûreté sont défaillantes et en fonction de l'étendue des dispositions de sûreté restant opérationnelles. Afin de prendre en compte ce dernier facteur, les dispositions de sûreté sont regroupées selon ce qu'il est convenu d'appeler des lignes de défense indépendantes et ces lignes de défense sont comptées. Les facteurs supplémentaires sont alors pris en considération et leur application peut résulter en l'augmentation d'un niveau du classement de base de l'événement.

#### **1.4.4. Le classement final**

Le classement final d'un événement doit prendre en compte tous les critères applicables décrits plus haut. Chaque événement doit être examiné sous l'angle de chaque critère applicable et le classement le plus élevé obtenu pour chaque critère est le classement appliqué à l'événement. La description générale des niveaux de l'INES permet de vérifier la démarche suivie pour le classement de l'événement. La démarche globale de classement est résumée dans les logigrammes du chapitre 7.

### **1.5. UTILISATION DE L'ÉCHELLE**

L'INES est un outil de communication. Son but essentiel est de faciliter la communication et la compréhension entre la communauté technique, les médias

et le public au sujet de l'importance des événements pour la sûreté. Des indications plus spécifiques sur la façon d'utiliser l'INES pour communiquer des informations concernant un événement sont données à la section 1.6.

L'objectif de l'INES ou du système international de communication qui y est associé n'est pas de définir des pratiques ou des installations à inclure dans les systèmes de contrôle réglementaire, ni d'établir des exigences de notification des incidents par les utilisateurs aux autorités de sûreté ou au public. La communication d'informations sur les événements et leur classement sur l'INES ne sont pas un système de notification formalisé. De même, il n'est pas prévu que les critères de l'INES remplacent les critères existants bien établis utilisés pour la gestion des situations d'urgence dans les divers pays. C'est à chaque pays de définir sa propre réglementation et ses arrangements. L'objectif de l'INES est simplement d'aider à éclairer l'importance pour la sûreté des événements à notifier.

Il est important que la communication ait lieu rapidement, sinon l'événement risque d'être mal compris du fait des spéculations des médias et du public. Dans certains cas, quand tous les détails de l'événement ne sont pas connus immédiatement, il est recommandé d'établir un classement provisoire fondé sur les informations disponibles et l'avis d'experts capables de comprendre la nature de l'événement. Le classement final intervient plus tard et les différences éventuelles sont expliquées.

Pour la plupart des événements, ce genre de communication n'a d'intérêt que dans la région ou le pays où s'est produit l'événement et les pays participants devront mettre en place les dispositions et mécanismes nécessaires pour effectuer ce genre de communication. Cependant, pour faciliter la communication au niveau international sur les événements qui suscitent, ou pourraient susciter, un plus large intérêt, l'AIEA et l'AEN ont élaboré un réseau d'information basé sur un formulaire de classement des événements (FCE) qui permet une diffusion immédiate des caractéristiques de l'événement à tous les États participant à l'INES. Depuis 2001, ce service internet d'information de l'INES a été utilisé par les États participants pour communiquer sur des événements et informer la communauté technique, les médias et le public.

Il n'est pas indiqué d'utiliser l'INES pour comparer le niveau de sûreté des installations, des organisations ou des pays. Les pratiques relatives à l'information du public pour ce qui concerne les événements mineurs peuvent être différentes. En outre, il est difficile d'apprécier la cohérence des critères utilisés pour le classement des événements se situant à la frontière des niveaux 0 et 1 de l'INES. Bien que des informations plus précises soient généralement disponibles sur les événements classés au niveau 2 ou au-dessus, le nombre statistiquement faible de ces événements, qui varie d'une année à l'autre, fait qu'il est difficile d'établir des comparaisons utiles à l'échelle internationale.

## 1.6. COMMUNICATION D'INFORMATIONS SUR LES ÉVÉNEMENTS

### 1.6.1. Principes généraux

L'INES doit être utilisée comme un outil stratégique de communication aux niveaux local, national et international. Bien qu'il ne soit pas opportun pour un document international de définir exactement comment les communications nationales doivent être menées, certains principes généraux peuvent s'appliquer. Ces principes sont détaillés dans la présente section. Des orientations sur les communications internationales sont données à la section 1.6.2.

La communication d'informations sur des événements utilisant le classement sur l'INES a pour cible principale les médias et le public. Par conséquent, il convient :

- D'utiliser un langage simple, évitant le jargon technique dans la description de l'événement ;
- D'éviter les abréviations, en particulier pour désigner des équipements ou des systèmes (par exemple, pompe de circulation principale au lieu de PCP) ;
- De mentionner les conséquences réelles confirmées comme les effets déterministes sur la santé des travailleurs ou des membres du public ;
- De fournir une estimation du nombre de travailleurs ou de personnes du public exposés ainsi que leur exposition réelle ;
- D'affirmer clairement s'il y a ou non des conséquences pour la population et l'environnement ;
- De mentionner toutes les actions protectrices mises en place à titre de précaution.

Les éléments suivants sont importants à communiquer en cas d'événements dans des installations nucléaires :

- Date et heure de l'événement ;
- Nom et emplacement de l'installation ;
- Type d'installation ;
- Systèmes principaux impliqués, le cas échéant ;
- Une déclaration générale indiquant s'il y a, ou non, des rejets radioactifs dans l'environnement et s'il y a, ou non, des conséquences pour la population et l'environnement.

De plus, les éléments suivants sont importants dans la description d'un événement lié à des sources de rayonnements ou au transport de matières radioactives :

- Les radionucléides en jeu dans l'événement ;
- La pratique pour laquelle la source était utilisée et sa catégorie AIEA [1] ;
- L'état de la source et des dispositifs associés ; et, si elle est perdue, toute information permettant d'identifier la source ou le dispositif, comme le numéro de série d'enregistrement.

### **1.6.2. Communications internationales**

Comme cela a été dit à la section 1.5., l'AIEA gère un système qui facilite la communication à l'échelle internationale sur les événements. Il est important de reconnaître qu'il ne s'agit pas d'un système formel de notification et qu'il fonctionne sur une base volontaire. Son objectif est de faciliter la communication et la compréhension entre la communauté technique (industrie et autorités de réglementation), les médias et le public à propos de l'impact sur la sûreté d'événements ayant suscité ou susceptibles de susciter l'intérêt des médias internationaux. Ce système peut également être utilisé pour communiquer sur les événements de transport transfrontaliers.

De nombreux pays ont accepté de participer à l'INES parce qu'ils ont clairement reconnu l'avantage d'une communication transparente sur les événements selon un processus exprimant clairement leur importance.

Tous les pays sont fortement encouragés à communiquer sur les événements au plan international (sous 24 heures si possible) selon les critères convenus suivants :

- Événements classés au niveau 2 et au-dessus ; ou
- Événements qui suscitent l'intérêt de la communauté internationale.

Il est reconnu que dans certains cas, du temps sera nécessaire pour connaître ou estimer les conséquences réelles d'un événement. Dans ces cas, un classement provisoire doit être établi, le classement final étant annoncé à une date ultérieure.

Les événements sont notifiés par les responsables nationaux INES, qui sont désignés officiellement par les États participants. Le système comprend la description des événements, le classement INES, des communiqués de presse (dans la langue nationale et en anglais) et de la documentation technique pour les experts. La description des événements, le classement et les communiqués de presse sont à la disposition du grand public sans inscription préalable. L'accès à la documentation technique est réservé aux experts désignés et enregistrés.

Les principales informations à fournir pour un événement spécifique sont résumées dans le FCE. Les informations destinées au public doivent suivre les principes énumérés dans la section 1.6.1. Quand l'échelle est appliquée au transport de matières radioactives, la nature multinationale de certains transports complique le problème ; cependant, le FCE de chaque événement ne doit être fourni que par un seul pays. Le FCE, qui n'est pas lui-même à la disposition du public, est envoyé par le pays dans lequel se passe l'événement. Les principes à appliquer sont les suivants :

- Il est entendu que c'est le pays dans lequel l'événement est découvert qui lance la discussion sur le point de savoir quel pays soumettra le formulaire de classement.
- En règle générale, si l'événement a des conséquences réelles, c'est le pays dans lequel ces conséquences se font sentir qui sera probablement le mieux placé pour soumettre le formulaire de classement. Si l'événement ne concerne que des défaillances du système de contrôle administratif ou de l'emballage, c'est le pays d'expédition du colis qui sera probablement le mieux placé pour soumettre le formulaire de classement. En cas de perte d'un colis, c'est le pays à l'origine de l'expédition qui sera probablement le mieux placé pour traiter le classement de l'événement et la communication d'informations.
- Si des informations provenant d'autres pays sont nécessaires, elles peuvent être obtenues auprès des autorités compétentes et doivent être prises en considération pour préparer le formulaire de classement des événements.
- Pour les événements concernant des installations nucléaires, il est essentiel d'identifier l'installation, son emplacement et son type.
- Pour les événements concernant des sources de rayonnements, il peut être utile d'inclure des détails techniques sur la source ou le dispositif et d'inclure les numéros d'enregistrement du dispositif, car le système INES permet une diffusion rapide de cette information au sein de la communauté internationale.
- Pour les événements liés au transport de matières radioactives, il peut être utile d'inclure l'identification du type de colis (par exemple, excepté, industriel, types A, B).
- Pour les installations nucléaires, les informations de base à fournir sont le nom de l'installation, son type et son emplacement et les conséquences sur la population et l'environnement. Bien qu'il existe d'autres mécanismes d'échange international sur le retour d'expérience, le système INES est l'outil de communication initiale d'informations sur l'événement aux médias, au public et à la communauté technique.

- Le formulaire de classement des événements inclut également la justification du classement. Bien que ces informations ne soient pas communiquées au public, il est utile que les autres responsables nationaux comprennent les bases du classement pour pouvoir répondre à toutes les questions. Les explications concernant le classement doivent clairement indiquer comment l'événement a été classé en se référant aux parties correspondantes de la procédure de classement.

## 1.7. STRUCTURE DU MANUEL

Le manuel comporte sept chapitres principaux.

Le chapitre premier présente un aperçu de l'INES.

Le chapitre 2 donne des indications détaillées pour classer les événements en fonction de leur impact sur la population et l'environnement. Il contient un certain nombre d'exemples étudiés.

Le chapitre 3 donne des indications détaillées pour classer les événements en fonction de leur impact sur les barrières et les contrôles radiologiques dans les installations. Il contient plusieurs exemples étudiés.

Les chapitres 4, 5 et 6 donnent des indications détaillées pour classer les événements en fonction de leur impact sur la défense en profondeur.

Le chapitre 4 donne des indications concernant la défense en profondeur pour tous les événements associés au transport et aux sources de rayonnements, sauf s'ils concernent les installations suivantes :

- Accélérateurs ;
- Installations de fabrication et d'expédition de radionucléides ;
- Installations utilisant une source de catégorie 1 [1].

Ces événements sont traités au chapitre 6.

Le chapitre 5 donne des indications concernant la défense en profondeur pour les événements survenant dans des réacteurs de puissance. Il ne s'applique qu'à des événements survenant pendant que le réacteur est en fonctionnement. Les événements concernant les réacteurs de puissance à l'arrêt, à l'arrêt définitif ou en cours de déclasserement sont abordés au chapitre 6. Les événements relatifs à des réacteurs de recherche sont également traités au chapitre 6.

Le chapitre 6 donne des indications relatives à la défense en profondeur pour les événements concernant des installations du cycle du combustible, des réacteurs de recherche ou des accélérateurs (comme les accélérateurs linéaires et les cyclotrons), ainsi que pour les événements associés à des défaillances de dispositions de sûreté survenant dans des installations de fabrication et

d'expédition de radionucléides ou lors de l'utilisation de sources radioactives de la catégorie 1. Il donne aussi des indications pour classer des événements concernant des réacteurs nucléaires de puissance en arrêt à froid (pendant les arrêts, l'arrêt définitif ou le déclassement).

L'examen de la défense en profondeur en trois chapitres distincts a pour objectif de faciliter le classement des événements. Bien qu'il y ait une certaine répétition entre les chapitres, chaque chapitre forme un tout et donne les indications nécessaires pour classer un événement de type correspondant. Des exemples appropriés sont également inclus dans chacun de ces trois chapitres.

Le chapitre 7 résume la procédure à utiliser pour classer les événements et comprend des logigrammes d'illustration et des tableaux d'exemples.

Quatre appendices, deux annexes et des références donnent d'autres informations scientifiques utiles.

Les définitions et la terminologie adoptée dans le présent manuel sont présentées dans le glossaire.

Le présent manuel remplace l'édition de 2001 [2], la documentation de travail de 2006 publiée en tant qu'orientations complémentaires pour les responsables nationaux [3] et les précisions approuvées en 2004 en ce qui concerne les événements liés à l'endommagement de combustible [4].

## 2. IMPACT SUR LA POPULATION ET L'ENVIRONNEMENT

### 2.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Le classement des événements en fonction de l'impact sur la population et l'environnement prend en compte les incidences radiologiques réelles sur les travailleurs, les membres du public et l'environnement. L'évaluation est fondée soit sur les doses reçues par les personnes soit sur la quantité de matières radioactives rejetée. Si elle est basée sur les doses, elle prend en compte, également, le nombre de personnes qui ont reçu une dose. Les événements doivent aussi être classés en utilisant les critères relatifs à la défense en profondeur (chapitres 4, 5 ou 6) et, le cas échéant, en utilisant les critères liés aux barrières et aux contrôles radiologiques dans les installations (chapitre 3), au cas où ces critères impliquent un classement plus élevé sur l'INES.

Il est admis que dans le cas d'un incident grave ou d'un accident, il n'est pas toujours possible, pendant les premières étapes de l'événement de déterminer précisément les doses reçues ni l'ampleur des rejets. Cependant, il devrait être possible d'effectuer une estimation initiale et d'établir ainsi un classement provisoire. Il faut se rappeler que l'objectif de l'INES est de permettre une communication rapide sur l'importance de l'événement.

Dans le cas des événements pour lesquels un rejet important ne s'est pas produit mais est possible si l'événement n'est pas maîtrisé, le niveau provisoire a toutes les chances d'être basé sur ce qui s'est effectivement produit jusqu'au moment du classement (en utilisant tous les critères de l'INES applicables). Une réévaluation ultérieure des conséquences nécessitera peut-être une révision du classement provisoire.

L'INES ne doit pas être confondue avec les systèmes de classement des situations d'urgence et elle ne doit pas servir de base à des mesures d'intervention. De même, l'ampleur des mesures d'intervention appliquées lors d'événements ne sert pas de base pour le classement. Le contenu des plans d'intervention en cas d'événement radiologique diffère en effet d'un pays à un autre, et il se peut en outre que des mesures de précaution soient prises dans certains cas même si elles ne sont pas entièrement justifiées par l'ampleur réelle du rejet. Pour ces raisons, c'est la quantité rejetée et la dose évaluée qui devraient servir à classer l'événement sur l'échelle et non pas les actions protectrices mises en œuvre dans le cadre des plans d'intervention.

Deux types de critères sont décrits dans la présente section :

- Quantité de radioactivité rejetée : applicable aux rejets de grande ampleur de matières radioactives dans l'environnement ;
- Doses aux personnes : applicable à toutes les autres situations.

La procédure d'application de ces critères est résumée dans les logigrammes du chapitre 7. Cependant, il faut remarquer que, pour les événements liés au transport et aux sources de rayonnements, lorsqu'il y a un rejet significatif de matières radioactives il ne faut prendre en compte que les critères relatifs aux doses aux personnes.

## 2.2. ACTIVITÉ REJETÉE

Les quatre niveaux les plus élevés de l'échelle (niveaux 4 à 7) incluent une définition en termes de quantité de radioactivité rejetée et définissent cette quantité sous forme d'équivalence radiologique par rapport à un nombre donné de térabecquerels de  $^{131}\text{I}$ . (La méthode d'évaluation de l'équivalence radiologique est donnée à la section 2.2.1.) Le choix de cet isotope est quelque peu arbitraire. Il a été utilisé parce que l'échelle a été élaborée à l'origine pour les centrales nucléaires pour lesquelles le  $^{131}\text{I}$  est généralement l'un des plus importants isotopes rejetés.

La raison de l'utilisation de la quantité rejetée plutôt que la dose estimée est que, pour ces rejets de grande ampleur, la dose effectivement reçue dépend beaucoup de la mise en œuvre d'actions protectrices et des autres conditions environnementales. Si les actions protectrices sont efficaces, les doses reçues n'augmenteront pas en proportion des quantités rejetées.

### 2.2.1. Méthodes d'évaluation des rejets

Deux méthodes sont données pour évaluer l'importance radiologique d'un rejet, en fonction de l'origine du rejet et donc des hypothèses les plus appropriées pour évaluer l'équivalence des rejets. S'il s'agit d'un rejet atmosphérique depuis une installation nucléaire, comme un réacteur ou une installation du cycle du combustible, le tableau 2 donne les facteurs de conversion pour calculer l'équivalence radiologique en  $^{131}\text{I}$  qu'il faut utiliser. L'activité réelle de l'isotope rejeté devrait être multipliée par le facteur indiqué dans le tableau 2 puis comparée aux valeurs données dans la définition de chaque niveau. Si plusieurs isotopes sont rejetés, il faut calculer la valeur équivalente pour chacun puis les

TABLEAU 2. ÉQUIVALENCE RADIOLOGIQUE PAR RAPPORT À <sup>131</sup>I  
POUR LES REJETS ATMOSPHÉRIQUES

Isotope	Facteur de multiplication
Am-241	8 000
Co-60	50
Cs-134	3
Cs-137	40
H-3	0,02
I-131	1
Ir-192	2
Mn-54	4
Mo-99	0,08
P-32	0,2
Pu-239	10 000
Ru-106	6
Sr-90	20
Te-132	0,3
U-235(L) <sup>a</sup>	1 000
U-235(M) <sup>a</sup>	600
U-235(R) <sup>a</sup>	500
U-238(L) <sup>a</sup>	900
U-238(M) <sup>a</sup>	600
U-238(R) <sup>a</sup>	400
U nat	1 000
Gaz rares	Négligeable (0 effectivement)

<sup>a</sup> Types d'absorption par les poumons : L — lente ; M — modérée ; R — rapide. En cas d'incertitude, utiliser la valeur la plus prudente.

additionner (voir les exemples 5 à 7). Le calcul de ces facteurs est expliqué dans l'appendice I.

Si le rejet se produit pendant le transport de matières radioactives ou l'utilisation de sources de rayonnements, les valeurs D<sub>2</sub> doivent être utilisées. Les valeurs D correspondent au niveau de radioactivité au-dessus duquel une source est considérée comme « dangereuse » et fortement susceptible de provoquer des

effets déterministes graves si elle n'est pas gérée de façon sûre et sécurisée. La valeur  $D_2$  est l'activité d'un radionucléide contenu dans une source qui, si elle était non maîtrisée et dispersée, pourrait provoquer une urgence dont on pourrait raisonnablement s'attendre qu'elle cause des effets déterministes graves sur la santé [5]. L'appendice III donne la liste des valeurs  $D_2$  pour un certain nombre d'isotopes.

Pour les événements suivis de rejets non atmosphériques (par exemple des rejets en milieu aquatique ou une contamination du sol suite à un déversement de matières radioactives), il faut établir un classement sur la base des doses selon la section 2.3. Les rejets liquides entraînant des doses sensiblement supérieures à celles qui correspondent au niveau 3 devraient être classés au niveau 4 ou à un au-dessus, mais l'évaluation de l'équivalence radiologique dépend du site, et il est donc impossible de donner ici des indications détaillées.

### 2.2.2. Définition des niveaux sur la base de l'activité rejetée<sup>2</sup>

#### Niveau 7

*« Un événement provoquant un rejet dans l'environnement correspondant à une quantité d'activité radiologiquement équivalente à un rejet dans l'atmosphère de plusieurs dizaines de milliers de térabecquerels de  $^{131}\text{I}$ . »*

Un tel rejet correspond à une fraction importante de l'activité contenue dans le cœur d'un réacteur de puissance et est constitué généralement d'un mélange de radionucléides à courte et à longue périodes. Avec un tel rejet, on s'attend à des effets stochastiques sur la santé sur une vaste zone, concernant peut-être plusieurs pays, et il y a un risque d'effets déterministes sur la santé. Il est aussi très probable que l'environnement subisse des conséquences à long terme et que des actions protectrices telles que la mise à l'abri et l'évacuation soient jugées nécessaires pour empêcher ou limiter les effets sur la santé des personnes du public.

---

<sup>2</sup> Ces critères se rapportent à des accidents pour lesquels les estimations initiales de l'ampleur des rejets ne peuvent être qu'approximatives. C'est la raison pour laquelle il n'est pas approprié d'utiliser des valeurs numériques précises dans la définition de ces niveaux. Néanmoins, pour garantir une interprétation cohérente de ces critères au niveau international, il est suggéré que les frontières entre les niveaux soient à peu près 500, 5 000 et 50 000 TBq de  $^{131}\text{I}$ .

## Niveau 6

« Un événement provoquant un rejet dans l'environnement correspondant à une quantité d'activité radiologiquement équivalente à un rejet dans l'atmosphère de l'ordre de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de térabecquerels de <sup>131</sup>I. »

Avec un tel rejet, il est très probable que des actions protectrices telles que la mise à l'abri et l'évacuation soient jugées nécessaires pour empêcher ou limiter les effets sur la santé des personnes du public.

## Niveau 5

« Un événement provoquant un rejet dans l'environnement correspondant à une quantité d'activité radiologiquement équivalente à un rejet dans l'atmosphère de l'ordre de quelques centaines à quelques milliers de térabecquerels de <sup>131</sup>I. »

ou

« Un événement provoquant un rejet dispersé d'activité à partir d'une source radioactive dont l'activité est supérieure à 2 500 fois la valeur  $D_2$  pour les isotopes rejetés. »

À la suite d'un tel rejet, certaines actions protectrices seraient probablement nécessaires (par exemple, mise à l'abri ou évacuation localisées, afin d'éviter ou de réduire le plus possible la probabilité d'effets sur la santé).

## Niveau 4

« Un événement provoquant un rejet dans l'environnement correspondant à une quantité d'activité radiologiquement équivalente à un rejet dans l'atmosphère de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de térabecquerels de <sup>131</sup>I. »

ou

« Un événement provoquant un rejet dispersé d'activité à partir d'une source radioactive dont l'activité est supérieure à 250 fois la valeur  $D_2$  pour les isotopes rejetés. »

Pour ce genre de rejet, il ne sera vraisemblablement pas utile d'engager des actions protectrices autres que la surveillance des aliments locaux.

## 2.3. DOSES AUX PERSONNES

Le critère le plus simple est celui des doses reçues suite à l'événement et les niveaux 1 à 6 comportent une définition basée sur ce critère<sup>3</sup>. Sauf indication contraire (voir les critères du niveau 1<sup>3</sup>), les critères s'appliquent aux doses reçues ou qui auraient facilement pu être reçues<sup>4</sup>, suite à l'événement unique évalué (c'est-à-dire sans cumul d'exposition). Ils définissent un classement minimum si une personne est exposée à des doses supérieures aux critères donnés (section 2.3.1) et un classement plus élevé si plusieurs personnes sont exposées au-dessus de ces critères (section 2.3.2).

### 2.3.1. Critères d'évaluation du classement minimum si une personne est exposée

*Le niveau 4* est le niveau minimum pour les événements dont les conséquences sont les suivantes :

- 1) « *La survenue d'un effet déterministe léthal ;*  
ou
- 2) *La survenue probable d'un effet déterministe léthal suite à une exposition du corps entier ayant entraîné une dose absorbée<sup>5</sup> de l'ordre de quelques Gy ».*

L'appendice II présente d'autres détails sur la probabilité d'effets déterministes létaux et les seuils pour les effets déterministes non létaux.

*Le niveau 3* est le niveau minimum pour les événements dont les conséquences sont les suivantes :

- 1) « *La survenue ou la survenue probable d'un effet déterministe non léthal (voir l'appendice II pour plus de détails) ;*  
ou

---

<sup>3</sup> Les définitions du niveau 1 sont basées sur les critères relatifs à la défense en profondeur expliqués aux chapitres 4 à 6, mais sont inclus ici par souci d'exhaustivité.

<sup>4</sup> Ici, l'intention n'est pas d'inventer des scénarios différents de ce qui s'est produit, mais d'examiner les doses qui auraient pu raisonnablement avoir été reçues sans le savoir. Par exemple, si une source radioactive a perdu son blindage et est transportée, les doses aux conducteurs et aux manutentionnaires doivent être estimées.

<sup>5</sup> En cas de fort rayonnement à TLE élevé, il faudrait tenir compte dans la dose absorbée de l'EBR correspondante. La dose absorbée pondérée selon l'EBR devrait être utilisée pour déterminer le classement INES.

- 2) *Exposition à une dose efficace supérieure à dix fois la limite de dose annuelle réglementaire au corps entier pour les travailleurs* ».

Le niveau 2 est le niveau minimum pour les événements dont les conséquences sont les suivantes :

- 1) *« Exposition d'une personne du public à une dose efficace supérieure à 10 mSv ;*  
ou
- 2) *Exposition d'un travailleur à une dose supérieure aux limites de dose annuelle réglementaires<sup>6</sup> ».*

Le niveau 1<sup>3</sup> est le niveau minimum pour les événements dont les conséquences sont les suivantes :

- 1) *« Exposition d'une personne du public à une dose supérieure aux limites de dose annuelle réglementaires<sup>6</sup> ;*  
ou
- 2) *Exposition d'un travailleur à une dose supérieure aux contraintes de doses<sup>7</sup> ;*  
ou
- 3) *Exposition cumulée d'un travailleur ou d'une personne du public supérieure aux limites de dose annuelle réglementaires<sup>6</sup>».*

### **2.3.2. Critères de prise en compte du nombre de personnes exposées**

Si plus d'une personne est exposée aux rayonnements, le nombre de personnes correspondant à chacun des niveaux définis à la section 2.3.1 doit être évalué, et dans chaque cas les indications de classement données dans les paragraphes suivants doivent être utilisées pour relever le classement le cas échéant.

Dans le cas des expositions qui n'ont pas ou ont peu de probabilités d'avoir un effet déterministe, le classement minimum présenté à la section 2.3.1 doit être relevé d'un niveau si des doses supérieures à la valeur définie pour le niveau sont

---

<sup>6</sup> Les limites de dose à prendre en compte sont toutes les limites de dose réglementaires incluant la dose efficace au corps entier, les doses à la peau, les doses aux extrémités et les doses au cristallin.

<sup>7</sup> La contrainte de dose est une valeur inférieure à la limite de dose réglementaire qui peut être établie par le pays.

reçues par 10 personnes ou plus et de deux niveaux si les doses sont reçues par 100 personnes ou plus.

Dans le cas des expositions qui ont eu ou pourraient avoir un effet déterministe, une approche plus prudente est adoptée et le classement doit être relevé d'un niveau si des doses supérieures à la valeur définie pour le niveau sont reçues par plusieurs personnes et de deux niveaux si les doses sont reçues par quelques dizaines de personnes<sup>8</sup>.

Un tableau résumant les critères de la présente section et de la précédente figure à la section 2.3.4.

Si plusieurs personnes sont exposées à différents niveaux, l'événement est classé au niveau le plus élevé quand on applique le processus décrit. Par exemple, si lors d'un événement 15 personnes du public sont exposées à une dose efficace de 20 mSv, le classement minimum applicable en fonction de cette dose est le niveau 2. La prise en compte du nombre de personnes exposées (15) augmente le classement d'un niveau, ce qui donne un classement au niveau 3. Cependant, si une seule personne du public a reçu une dose efficace de 20 mSv et 14 ont reçu des doses efficaces entre 1 et 10 mSv, le classement basé sur la dose efficace de 20 mSv doit être le niveau 2 (classement minimum, non relevé, car seulement une personne a été affectée) et le classement basé sur une dose efficace supérieure à 1 mais inférieure à 10 mSv est le niveau 2 (classement minimum de niveau 1, relevé d'un niveau car plus de 10 personnes ont été exposées). Le classement global est alors le niveau 2.

### **2.3.3. Méthodologie d'estimation des doses**

La méthodologie d'estimation des doses aux travailleurs et au public devrait être réaliste et suivre les hypothèses nationales normalisées d'évaluation des doses. L'évaluation devrait être basée sur le scénario réel, incluant toutes les actions protectrices mises en œuvre.

Si l'on ne sait pas avec certitude si quelqu'un a été exposé (cas, par exemple, d'un colis sur lequel on constate a posteriori un défaut de protection), il faudrait estimer les doses probables et attribuer le niveau INES sur la base d'une reconstruction du scénario probable.

---

<sup>8</sup> Pour appliquer ces critères de la même façon dans tous les cas, on peut assumer que « plusieurs » signifie plus de trois et « quelques dizaines » plus de 30 (ces valeurs correspondent approximativement à un demi-ordre de grandeur sur une base logarithmique).

### 2.3.4. Résumé

Les indications de la section 2.3 sont résumées dans le tableau 3, qui indique comment prendre en compte le niveau des doses et le nombre de personnes exposées.

TABLEAU 3 RÉSUMÉ DU CLASSEMENT SELON LES DOSES AUX PERSONNES

Niveau d'exposition	Classement minimum	Nombre de personnes	Classement effectif
Survenue d'un effet déterministe léthal	4	Quelques dizaines ou plus	6 <sup>a</sup>
ou			
Survenue probable d'un effet déterministe léthal suite à une exposition du corps entier ayant entraîné une dose absorbée de l'ordre de quelques Gy		Entre plusieurs et quelques dizaines	5
		Entre un et trois	4
Survenue ou survenue probable d'un effet déterministe non léthal	3	Quelques dizaines ou plus	5
		Entre plusieurs et quelques dizaines	4
		Entre un et trois	3
Exposition à une dose efficace supérieure à dix fois la limite de dose annuelle réglementaire au corps entier pour les travailleurs	3	100 ou plus	5
		10 ou plus	4
		Moins de dix	3
Exposition d'une personne du public à une dose efficace supérieure à 10 mSv	2	100 ou plus	4
ou			
Exposition d'un travailleur à une dose supérieure aux limites de dose annuelle réglementaires.		10 ou plus	3
		Moins de dix	2
Exposition d'une personne du public à une dose supérieure aux limites de dose annuelle réglementaires	1	100 ou plus	3
ou			
Exposition d'un travailleur à une dose supérieure aux contraintes de dose		10 ou plus	2
		Moins de dix	1 <sup>b</sup>

TABLEAU 3 RÉSUMÉ DU CLASSEMENT SELON LES DOSES AUX PERSONNES (suite)

Niveau d'exposition	Classement minimum	Nombre de personnes	Classement effectif
Exposition cumulée de personnes du public ou de travailleurs à une dose supérieure aux limites de dose annuelle réglementaires.	1	1 ou plus	1 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Le niveau 6 n'est pas considéré comme crédible pour un événement concernant les sources de rayonnements.

<sup>b</sup> Comme expliqué à la section 2.3, les définitions du niveau 1 sont basées sur les critères relatifs à la défense en profondeur expliqués aux chapitres 4 à 6, mais elles sont incluses ici par souci d'exhaustivité.

## 2.4. EXEMPLES ÉTUDIÉS

L'objectif de ces exemples est d'illustrer la démarche de classement décrite dans le présent chapitre. Les exemples sont basés sur des événements réels mais légèrement modifiés pour illustrer l'utilisation de différentes étapes de la démarche. Le classement établi dans la présente section n'est pas nécessairement le classement final car il faut encore prendre en considération les critères des chapitres 3 à 6 avant de définir le classement final.

### Exemple 1. Surexposition d'un électricien dans un hôpital — Niveau 2

#### *Description de l'événement*

Un technicien installait et réglait une nouvelle machine de radiothérapie dans un hôpital, ignorant qu'un électricien travaillait au-dessus du plafond. Pour tester la machine, il a pointé le faisceau de rayonnements vers le plafond et l'électricien a probablement été exposé. La dose efficace au corps entier estimée se situe entre 80 mSv et 100 mSv. L'électricien ne présentait aucun symptôme, mais, par précaution, une analyse de sang a été effectuée. Comme on pouvait s'y attendre pour ce niveau d'exposition, l'analyse de sang s'est révélée négative.

## *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2.1. Activité rejetée	Sans objet. Pas de rejet.
2.3. Doses aux personnes	Une personne (mais pas un travailleur sous rayonnements) a reçu une dose efficace supérieure à 10 mSv mais inférieure à « dix fois la limite de dose annuelle réglementaire au corps entier pour les travailleurs ». Il n'y a pas eu d'effet déterministe sur la santé. Classement au niveau 2.
Classement en fonction de l'impact sur la population et l'environnement	Niveau 2.

### **Exemple 2. Surexposition d'un technicien de radiographie — Niveau 2**

#### *Description de l'événement*

Un technicien de radiographie a débranché le tube guide de source d'un appareil de radiographie et a remarqué que la source n'était pas en position de sûreté. L'appareil de radiographie contenait une source scellée de 807 GBq de  $^{192}\text{Ir}$ . Le technicien a remarqué que son radiomètre était hors limites et en a informé le responsable de la sûreté radiologique de la société. Parce que les dosimètres d'extrémités ne sont pas d'usage courant pendant les opérations de radiographie, le responsable de la sûreté radiologique a effectué une reconstitution de la dose. Sur cette base, une personne a pu recevoir une dose aux extrémités de l'ordre de 3,3 à 3,6 Gy, ce qui dépasse la limite de dose annuelle réglementaire de 500 mSv à la peau ou aux extrémités. La dosimétrie corps entier indique que le technicien a reçu une dose au corps entier d'environ 2 mSv. Il a été admis en observation à l'hôpital d'où il est sorti plus tard. Aucun effet déterministe n'a été observé.

D'après des informations ultérieures, la personne portait son dosimètre à la ceinture et son corps peut avoir fait écran au dosimètre.

## *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Sans objet. Pas de rejet.
2.3. Doses aux personnes	Un travailleur a reçu une dose dépassant la limite annuelle. Aucun effet déterministe n'a été observé, et aucun n'était d'ailleurs attendu. Niveau 2 (même en prenant en compte de la possibilité que le dosimètre ait été caché par le corps, la dose efficace était très inférieure aux critères correspondant au niveau 3.)
Classement en fonction de l'impact sur la population et l'environnement	Niveau 2.

### **Exemple 3. Surexposition d'un technicien de radiographie industrielle — Niveau 3**

#### *Description de l'événement*

Trois employés effectuaient des vérifications par radiographie industrielle en utilisant une source de 3,3 TBq de  $^{192}\text{Ir}$  sur une plate-forme à 22,5 m de hauteur. Sans que l'on sache pourquoi, la source de  $^{192}\text{Ir}$  n'était pas engagée (ou n'a jamais été engagée) dans le viseur. À la fin de leur opération, un des employés a dévissé un tube guide et la source est tombée sur la plate-forme sans que personne ne la remarque (les employés n'utilisaient ni détecteur de rayonnements ni dosimètre de poche). Les employés ont quitté le site et, le soir suivant (23 heures), un autre employé a trouvé la source et a essayé de l'identifier. Il l'a montrée à un autre employé, qui s'est aperçu que le premier employé avait la joue enflée. Le premier employé a remis la source à son collègue et est descendu pour se laver le visage. Le second employé est descendu de la tour avec la source dans la main. Quand les deux employés ont décidé de remettre la source à leur contremaître dans le bureau de ce dernier, le dosimètre à alarme d'un travailleur d'une autre société s'est déclenché indiquant un champ de rayonnements élevé. La source a été identifiée et les employés ont été avertis que le morceau de métal était une source radioactive dangereuse qu'il fallait sécuriser immédiatement. On a mis la source dans un tube et averti le propriétaire de la société, après quoi la source a été récupérée. Le temps entre l'identification de la source et sa récupération a été d'environ une demi-heure. Les trois employés ont subi des examens (y compris un examen cytogénétique) et ont été admis à l'hôpital. L'un d'eux présentait des effets déterministes (brûlures radio-induites graves à une main). On a prélevé des échantillons de sang à cinq employés de la société de

radiographie pour analyse par un laboratoire de cytogénétique, mais aucune anomalie n'a été observée.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Sans objet.
2.3. Doses aux personnes	Une personne présente des effets déterministes dus à l'irradiation. Cela donne un classement au niveau 3.

Classement en fonction de l'impact sur Niveau 3.  
la population et l'environnement

## **Exemple 4. Rupture d'une source hautement radioactive abandonnée — Niveau 5**

### *Description de l'événement*

Un établissement privé de radiothérapie a déménagé dans de nouveaux locaux, emmenant avec lui un appareil de téléthérapie au  $^{60}\text{Co}$  et laissant sur place un appareil de téléthérapie avec une source de 51 TBq au  $^{137}\text{Cs}$ . L'autorité compétente n'a pas été avertie conformément à la licence de l'établissement. Les anciens locaux ont été par la suite en partie démolis et l'appareil de thérapie au  $^{137}\text{Cs}$  n'a plus du tout été en sécurité. Deux personnes sont entrées dans les locaux et, sans connaître la nature de l'appareil, mais pensant qu'il pouvait avoir une valeur comme ferraille, ont sorti la source de la machine. Ils l'ont emmenée à leur domicile et ont essayé de la démanteler. Ce faisant, ils ont cassé la capsule de la source. La source radioactive se trouvait sous forme de sel de chlorure de césium, hautement soluble et facile à disperser. Il en est résulté que plusieurs personnes ont été contaminées et irradiées.

Une fois la capsule ouverte, les restes de la source ont été vendus à un ferrailleur. Celui-ci a remarqué que le matériau de la source luisait d'une couleur bleue dans le noir. Plusieurs personnes ont été fascinées par cela et, sur plusieurs jours, des amis et des parents sont venus voir le phénomène. Des fragments de la source de la taille de grains de riz ont été distribués à plusieurs familles. Cela s'est poursuivi pendant cinq jours, puis plusieurs personnes ont commencé à développer des symptômes gastro-intestinaux suite à leur exposition aux rayonnements de la source. Les symptômes n'ont pas immédiatement été identifiés comme étant dus à une irradiation. Cependant, l'une des personnes irradiées a fait le lien entre la maladie et la capsule de la source et a porté les restes au département de la santé publique de la ville.

Cette action a déclenché une enquête qui a permis de découvrir l'accident. Un médecin local a été le premier à constater et évaluer l'importance de l'accident et, de sa propre initiative, a fait évacuer deux zones. En même temps, les autorités ont été informées, moment à partir duquel la rapidité et l'ampleur de l'intervention ont été impressionnantes. Plusieurs autres sites fortement contaminés ont été rapidement identifiés et les habitants évacués. Du fait de cet événement, huit personnes ont présenté un syndrome d'irradiation aiguë et quatre personnes sont mortes par suite de l'exposition aux rayonnements.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	La source a été cassée et l'essentiel de l'activité a été rejetée dans l'environnement. La valeur $D_2$ pour le $^{137}\text{Cs}$ donnée dans l'appendice III est 20 TBq ; le rejet équivalait donc à environ 2,5 fois la valeur $D$ , ce qui est bien inférieur au critère « supérieure à 250 fois la valeur $D_2$ » correspondant au niveau 4.
2.3. Doses aux personnes	Un seul décès par irradiation entraîne un classement au niveau 4. Comme plusieurs personnes sont mortes, le classement doit être relevé d'un niveau.
Classement en fonction de l'impact sur la population et l'environnement	Niveau 5.

### **Exemple 5. Rejet d'iode 131 depuis un réacteur — Niveau 5**

#### *Description de l'événement*

Le modérateur graphite d'un réacteur de production de plutonium refroidi par air a pris feu, ce qui a provoqué un important rejet de matières radioactives. Le feu s'est déclenché pendant le processus de recuit de la structure en graphite. En fonctionnement normal, les neutrons frappant le graphite provoquent une distorsion de sa structure cristalline. Cette distorsion induit une accumulation d'énergie stockée dans le graphite. Un processus de recuit contrôlé sert à restaurer la structure du graphite et à évacuer l'énergie stockée. Malheureusement, dans ce cas, une énergie trop importante a été évacuée, ce qui a endommagé le combustible. Le combustible d'uranium métallique et le graphite ont alors réagi avec l'air et se sont enflammés. La première indication d'une situation anormale a été donnée par des échantillonneurs d'air situés à 800 m de distance. Les niveaux de radioactivité relevés dans l'air étaient 10 fois supérieurs à la normale. Des échantillonnages effectués plus près du bâtiment réacteur ont confirmé que

des rejets radioactifs se produisaient. L'inspection du cœur a montré que les éléments combustibles étaient en surchauffe dans environ 150 canaux. Après plusieurs heures de tentatives diverses, l'incendie a été éteint en combinant un déluge d'eau et l'arrêt de la ventilation forcée. Le réacteur a été refroidi. La quantité d'activité rejetée a été estimée entre 500 et 700 TBq de  $^{131}\text{I}$  et 20 à 40 TBq de  $^{137}\text{Cs}$ . Il n'y a pas eu d'effet déterministe et personne n'a reçu de dose approchant dix fois la limite de dose annuelle réglementaire au corps entier pour les travailleurs.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Le facteur d'équivalence radiologique de $^{137}\text{Cs}$ donné dans le tableau 2 est 40, de sorte que le rejet total est radiologiquement équivalent à 1 300 à 2 300 TBq de $^{131}\text{I}$ . Comme la limite supérieure est très inférieure à 5 000 TBq, cet accident est classé au niveau 5, « de l'ordre de quelques centaines à quelques milliers de TBq de $^{131}\text{I}$ »
2.3. Doses aux personnes	Sans objet. Les doses individuelles réelles ne sont pas communiquées, mais comme personne n'a reçu de dose approchant le critère correspondant au niveau 3, le critère de dose individuelle ne peut pas entraîner un relèvement du classement établi selon le critère de l'importance du rejet.
Classement en fonction de l'impact sur la population et l'environnement	Niveau 5.

## **Exemple 6. Surchauffe d'un réservoir d'entreposage de déchets dans une installation de retraitement — Niveau 6**

### *Description de l'événement*

Le système de refroidissement d'un réservoir d'entreposage de déchets hautement radioactifs est tombé en panne, entraînant une élévation de la température des déchets dans le réservoir. L'explosion des sels de nitrate et d'acétate secs qui s'en est suivie correspondait à une puissance de 75 tonnes de TNT. Le couvercle en béton de 2,5 m d'épaisseur a été projeté à 30 m. Des mesures d'urgence, y compris d'évacuation, ont été prises pour limiter les effets graves sur la santé.

Les composants les plus significatifs du rejet ont été 1 000 TBq de  $^{90}\text{Sr}$  et 13 TBq de  $^{137}\text{Cs}$ . Une vaste zone, de 300 x 50 km, a été contaminée par plus de 4 kBq/m<sup>2</sup> de  $^{90}\text{Sr}$ .

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Les facteurs d'équivalence radiologique de $^{90}\text{Sr}$ et de $^{137}\text{Cs}$ donnés au tableau 2 sont 20 et 40, de sorte que le rejet total est radiologiquement équivalent à 20 500 TBq de $^{131}\text{I}$ . Cela correspond au niveau 6, « de l'ordre de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de TBq de $^{131}\text{I}$ ».
2.3. Doses aux personnes	N'a pas à être pris en compte, car l'événement est déjà classé au niveau 6.
Classement en fonction des conséquences réelles	Niveau 6.

### **Exemple 7. Rejet majeur d'activité suite à un accident de criticité et un incendie — Niveau 7**

#### *Description de l'événement*

Une faiblesse de conception et un test mal préparé et mal exécuté ont fait qu'un réacteur est devenu supercritique. Des tentatives d'arrêt du réacteur ont été effectuées, mais un pic d'énergie s'est produit et quelques-unes des barres de combustible ont commencé à se fracturer, des fragments de barres de combustibles se retrouvant dans le passage des barres de commande. Les barres de commande se sont bloquées à un tiers de la hauteur et n'ont donc pas pu arrêter la réaction. La puissance du réacteur est montée aux environs de 30 GW, soit dix fois la puissance normale de fonctionnement. Les barres de combustible ont commencé à fondre et la pression de vapeur s'est accrue rapidement, provoquant une forte explosion de vapeur. Cette vapeur s'est propagée verticalement dans les gaines de barres du réacteur, déplaçant et détruisant le couvercle du réacteur, arrachant les tubes de refroidissement, puis arrachant une partie du toit. Une fois le toit soufflé, l'arrivée brutale d'oxygène, combinée aux températures extrêmement élevées du combustible et du modérateur graphite dans le réacteur, a provoqué un incendie du graphite. Cet incendie a été un contributeur important à la dispersion de matières radioactives et à la contamination des zones extérieures.

Les rejets totaux de matières radioactives ont été d'environ 14 millions de TBq, dont 1,8 million de TBq de  $^{131}\text{I}$ , 85 000 TBq de  $^{137}\text{Cs}$  et d'autres radio-

isotopes du césium, 10 000 TBq de  $^{90}\text{Sr}$  et un certain nombre d'autres isotopes importants.

*Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Les facteurs d'équivalence radiologique de $^{90}\text{Sr}$ et de $^{137}\text{Cs}$ donnés au tableau 2 sont 20 et 40, de sorte que le rejet total est radiologiquement équivalent à 5,4 millions de TBq de $^{131}\text{I}$ . Cela correspond au plus haut niveau de l'échelle, le niveau 7, « de plusieurs dizaines de milliers de TBq de $^{131}\text{I}$ ». D'autres isotopes étaient aussi présents, mais il n'est pas nécessaire d'en tenir compte puisque les isotopes énumérés donnent déjà un rejet de niveau 7.
2.3. Doses aux personnes	N'a pas à être pris en compte, car l'événement est déjà classé au niveau 7.
Classement en fonction de l'impact sur la population et l'environnement	Niveau 7.

### **3. IMPACT SUR LES BARRIÈRES ET CONTRÔLES RADIOLOGIQUES DANS LES INSTALLATIONS**

#### **3.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE**

Les indications de cette section ne sont applicables qu'à des événements survenant dans des installations autorisées, pour lesquelles une limite de site est clairement définie dans l'autorisation d'exploitation. Elles ne sont applicables qu'à des installations importantes où le risque (bien que peu probable) d'un rejet de matières radioactives peut être classé au niveau 5 ou au-dessus.

Il faut examiner chaque événement en fonction des critères d'impact sur la population et l'environnement et sur la défense en profondeur. On pourrait penser que ces deux jeux de critères couvrent tous les éléments dont il faut tenir compte pour classer un événement. Cependant, cette approche ne permet pas de classer deux types d'événements clés au niveau correspondant à leur importance.

Le premier type d'événements concerne des dommages importants aux barrières primaires qui empêchent les rejets massifs (par exemple, la fusion du cœur ou la perte de confinement de très grandes quantités de matières radioactives dans une installation de retraitement de combustible nucléaire). Pour ce type d'événements, la principale barrière de protection est défaillante et les seules barrières empêchant le rejet de très grandes quantités de matières radioactives sont les systèmes de confinement restants. Sans critère spécifique adapté à ces événements, ils ne seraient classés qu'au niveau 3 au titre de la défense en profondeur, le même niveau qu'un « accident évité de peu (...) avec défaillance de toutes les dispositions en matière de sûreté ». Les critères des niveaux 4 et 5 concernent spécifiquement ces événements.

Le second type d'événements correspond à une situation dans laquelle les barrières primaires empêchant des rejets massifs restent intactes, mais un déversement majeur de matières radioactives ou une augmentation substantielle du débit de dose se produit dans une installation utilisant de grandes quantités de matières radioactives. De tels événements pourraient fort bien être classés au niveau 1 au titre de la défense en profondeur à cause du grand nombre de barrières qui seraient encore disponibles. Or, ces événements représentent une défaillance majeure des contrôles de gestion des matières radioactives et donc donnent à penser qu'il existe un risque d'événements pouvant avoir un impact significatif sur la population et l'environnement. Les critères des niveaux 2 et 3 concernent spécifiquement ce deuxième type d'événements.

L'importance d'une contamination est mesurée soit par la quantité d'activité disséminée soit par le débit de dose résultant. Ces critères sont liés aux débits de dose dans une zone de service, mais n'impliquent pas la présence

effective d'un travailleur. Ils ne doivent pas être confondus avec les critères relatifs aux doses aux travailleurs de la section 2.3, qui concernent les doses réellement reçues.

Les niveaux de contamination inférieurs aux valeurs correspondant au niveau 2 sont considérés comme négligeables pour le classement d'un événement au titre de ce critère ; pour ces faibles niveaux, seul l'impact sur la défense en profondeur doit être pris en compte.

Il est admis que la nature exacte des dommages et/ou de la contamination peut ne pas être connue pendant un certain temps à la suite d'un événement ayant des incidences de cette nature. Cependant, il doit être possible de faire une première estimation pour décider d'un classement provisoire sur le formulaire de classement des événements. Il est possible qu'une réévaluation ultérieure de la situation nécessite un reclassement de l'événement.

Pour tous les événements, les critères liés à la population et à l'environnement (chapitre 2) et à la défense en profondeur (chapitres 4, 5 et 6) doivent aussi être pris en compte car ils peuvent amener à classer un événement à un niveau supérieur.

### 3.2. DÉFINITION DES NIVEAUX

#### *Niveau 5*

**Pour les événements concernant le combustible d'un réacteur (y compris les réacteurs de recherche) :**

*« Un événement provoquant la fusion de plus de l'équivalent de quelques pour cent du combustible d'un réacteur de puissance ou le rejet<sup>9</sup> de plus de quelques pour cent de l'inventaire du cœur d'un réacteur de puissance à partir des éléments combustibles<sup>10</sup>. »*

La définition est basée sur l'inventaire total du cœur d'un réacteur de puissance, pas seulement sur les gaz libres des produits de fission (« inventaire

---

<sup>9</sup> Le terme « rejet » désigne dans ce cas un mouvement de matières radioactives hors de leur emplacement prévu, mais toujours à l'intérieur des limites de l'installation.

<sup>10</sup> Étant donné que l'ampleur des dommages subis par le combustible n'est pas facilement mesurable, les exploitants et les autorités de sûreté doivent établir des critères spécifiques à l'installation basés sur les symptômes (par ex., concentration d'activité dans le circuit primaire, contrôle radiologique dans le bâtiment réacteur) afin de réduire le délai de classement des événements relatifs à l'endommagement du combustible.

complémentaire »). Une telle quantité nécessite un rejet important à partir de la matrice de combustible ainsi que de l'inventaire complémentaire. Il faut noter que le classement basé sur l'endommagement du combustible ne dépend pas de l'état du circuit primaire.

Pour les réacteurs de recherche, la fraction de combustible affectée doit être basée sur les quantités correspondant à un réacteur de puissance de 3 000 MWth.

#### **Pour les autres installations :**

*« Un événement provoquant un rejet majeur<sup>9</sup> de matières radioactives dans l'installation (comparable au rejet résultant de la fusion d'un cœur) avec une forte probabilité<sup>11</sup> de surexposition significative. »*

On peut citer comme exemples d'accidents dans des installations autres que les réacteurs un accident de criticité majeur, ou un incendie ou une explosion importants entraînant le rejet de grandes quantités de matières radioactives dans l'installation.

#### *Niveau 4*

#### **Pour des événements concernant le combustible d'un réacteur (y compris les réacteurs de recherche) :**

*« Un événement provoquant le rejet<sup>9</sup> de plus de 0,1 % de l'inventaire du cœur d'un réacteur de puissance à partir des éléments combustibles<sup>10</sup>, suite à la fusion du combustible ou à une rupture de gaine. »*

Cette définition est également basée sur l'inventaire total du cœur d'un réacteur de puissance, pas seulement sur « l'inventaire complémentaire » et ne dépend pas de l'état du circuit primaire. Un rejet de plus de 0,1 % de l'inventaire total du cœur peut se produire s'il y a fusion de quelques assemblages de combustible avec rupture de gaine ou si une fraction significative (~10 %) des gaines est endommagée, ce qui provoque le rejet de « l'inventaire complémentaire ».

Pour les réacteurs de recherche, la fraction de combustible affectée doit être basée sur les quantités correspondant à un réacteur de puissance de 3 000 MWth.

---

<sup>11</sup> « Forte probabilité » correspond à une probabilité semblable à celle d'un rejet à partir du confinement à la suite d'un accident de réacteur.

Un endommagement ou une dégradation du combustible qui ne provoque pas de rejet supérieur à 0,1 % de l'inventaire total du cœur d'un réacteur de puissance (par ex., fusion très localisée ou faible endommagement des gaines) doit être classé en dessous de l'échelle/niveau 0 au titre de ce critère et doit alors être pris en considération au titre du critère de défense en profondeur.

### **Pour les autres installations :**

*« Un événement provoquant le rejet<sup>9</sup> de quelques milliers de térabecquerels d'activité à partir du confinement primaire<sup>12</sup> avec une forte probabilité<sup>11</sup> de surexposition significative du public. »*

#### *Niveau 3*

*« Un événement provoquant le rejet<sup>9</sup> de quelques milliers de térabecquerels d'activité dans une zone non prévue à la conception<sup>13</sup> qui nécessite une action corrective, même si la probabilité d'exposition significative du public est très faible. »*

ou

*« Un événement ayant pour conséquence une somme des débits de dose gamma et neutronique supérieure à 1 Sv par heure dans une zone de service<sup>14</sup> (débit de dose mesuré à un mètre de la source). »*

---

<sup>12</sup> Dans ce contexte, les expressions « confinement primaire » et « confinement secondaire » désignent le confinement des matières radioactives dans les installations autres que les réacteurs et ne doivent pas être confondues avec les expressions analogues employées pour les réacteurs.

<sup>13</sup> On entend par « zones non prévues à la conception », les structures permanentes ou temporaires dont la conception initiale ne prévoit pas qu'en fonctionnement normal ou à la suite d'un accident elles puissent recevoir et retenir le niveau de contamination effectif et empêcher la dissémination de la contamination au-delà de leurs limites. Exemples d'événements impliquant une contamination de zones non prévues à la conception :

- Contamination par des matières radioactives en dehors de zones contrôlées ou surveillées dans lesquelles aucune matière de ce genre n'est normalement présente comme les sols, les cages d'escalier, les bâtiments auxiliaires et les zones de stockage.
- Contamination par du plutonium ou des produits de fission hautement radioactifs d'une zone conçue et équipée uniquement pour la manutention de l'uranium.

<sup>14</sup> Les zones de service sont les zones où les travailleurs ont accès sans permis spécial. Sont exclues les zones où des contrôles spécifiques sont nécessaires (au-delà de l'utilisation générale d'un dosimètre personnel ou de combinaisons) à cause du niveau de contamination ou de rayonnement.

Les événements provoquant un fort débit de dose dans des zones non considérées comme des zones de service doivent être classés selon l'approche de défense en profondeur pour les installations (voir l'exemple 49).

## Niveau 2

*« Un événement ayant pour conséquence une somme des débits de dose gamma et neutronique supérieure à 50 mSv par heure dans une zone de service <sup>14</sup> (débit de dose mesuré à un mètre de la source). »*

ou

*« Un événement conduisant à la présence de quantités significatives de matières radioactives dans l'installation, dans des zones non prévues à la conception<sup>13</sup> et qui nécessite une action corrective. »*

Dans ce contexte, l'expression « quantité significative » doit être interprétée comme suit :

- a) Déversement d'une matière radioactive liquide radiologiquement équivalent à un déversement de l'ordre de dix térabecquerels de <sup>99</sup>Mo.
- b) Déversement d'une matière radioactive solide radiologiquement équivalent à un déversement de l'ordre d'un térabecquerel de <sup>137</sup>Cs, à condition que les niveaux de contamination des surfaces et de l'air soient dix fois supérieurs à ceux autorisés pour les zones de service.
- c) Rejet d'une matière radioactive en suspension dans l'air à l'intérieur d'un bâtiment radiologiquement équivalent à un rejet de l'ordre de quelques dizaines de gigabecquerels de <sup>131</sup>I.

### 3.3. CALCUL DE L'ÉQUIVALENCE RADIOLOGIQUE

Le tableau 4 donne, pour divers isotopes, les facteurs de multiplication pour le calcul de l'équivalence radiologique pour la contamination des installations. L'activité réelle rejetée doit être multipliée par le facteur indiqué puis comparée aux valeurs données dans la définition de chaque niveau pour l'isotope utilisé à des fins de comparaison. Si plusieurs isotopes sont rejetés, il faut calculer la valeur d'équivalence pour chaque isotope puis toutes les additionner. La méthode d'obtention de ces facteurs est indiqué à l'appendice I.

TABLEAU 4. ÉQUIVALENCE RADIOLOGIQUE POUR LA CONTAMINATION DES INSTALLATIONS

Isotope	Facteur de multiplication pour une contamination par une matière en suspension dans l'air basé sur l'équivalence avec $^{131}\text{I}$	Facteur de multiplication pour une contamination par une matière solide basé sur l'équivalence avec $^{137}\text{Cs}$	Facteur de multiplication pour une contamination par une matière liquide basé sur l'équivalence avec $^{99}\text{Mo}$
Am-241	2 000	4 000	50 000
Co-60	2,0	3	30
Cs-134	0,9	1	20
Cs-137	0,6	1	12
H-3	0,002	0,003	0,03
I-131	1	2	20
Ir-192	0,4	0,7	9
Mn-54	0,1	0,2	2
Mo-99	0,05	0,08	1
P-32	0,3	0,4	5
Pu-239	3 000	5 000	57 000
Ru-106	3	5	60
Sr-90	7	11	140
Te-132	0,3	0,4	5
U-235(L) <sup>a</sup>	600	900	11 000
U-235(M) <sup>a</sup>	200	300	3 000
U-235(R) <sup>a</sup>	50	90	1 000
U-238(L) <sup>a</sup>	500	900	10 000
U-238(M) <sup>a</sup>	100	200	3 000
U-238(R) <sup>a</sup>	50	100	1 000
U nat	600	900	11 000
Gaz rares	Négligeable (0 effectivement)	Négligeable (0 effectivement)	Négligeable (0 effectivement)

<sup>a</sup> Types d'absorption par les poumons : L — lente, M — modérée, R — rapide. En cas d'incertitude, utiliser la valeur la plus prudente.

### 3.4. EXEMPLES ÉTUDIÉS

L'objectif de ces exemples est d'illustrer la démarche de classement décrite dans le présent chapitre. Les exemples sont basés sur des événements réels mais légèrement modifiés pour illustrer l'utilisation de différentes étapes de la démarche. La dernière ligne du tableau donne le classement basé sur les conséquences réelles (c'est-à-dire en tenant compte des critères des chapitres 2 et 3). Ce n'est pas nécessairement le classement final car il faut encore prendre en considération les critères de défense en profondeur avant de définir le classement final.

#### **Exemple 8. Événement dans un laboratoire produisant des sources radioactives — En dessous de l'échelle/niveau 0**

##### *Description de l'événement*

Cet événement s'est produit dans un laboratoire fabriquant des sources au  $^{137}\text{Cs}$ . À la suite de travaux d'aménagement dans une autre partie du bâtiment, il a été impossible de conserver la dépression dans le laboratoire. Cela a entraîné une contamination par du  $^{137}\text{Cs}$  en suspension dans l'air du laboratoire et dans un conduit qui lui est raccordé.

L'événement a entraîné de faibles doses (<1 mSv) à des travailleurs et des personnes du public. Des mesures ont montré que la quantité de radioactivité disséminée dans les installations était de l'ordre de 3 à 4 GBq de  $^{137}\text{Cs}$  et que la quantité de radioactivité rejetée dans l'environnement par le système de ventilation était de l'ordre de 1 à 10 GBq.

##### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	D'après le tableau 2, 1 à 10 GBq de $^{137}\text{Cs}$ est radiologiquement équivalent à 40 à 400 GBq de $^{131}\text{I}$ , ce qui est très inférieur à la valeur de classement en fonction du critère de rejet de « quelques dizaines à quelques centaines de térabecquerels de $^{131}\text{I}$ ».
2.3. Doses aux personnes	Toutes les doses étant inférieures à 1 mSv, le classement en fonction des doses individuelles est le niveau 0.

-----

Critères	Explication
3.2. Barrières et contrôles radiologiques dans les installations	D'après le tableau 4, le rejet en suspension dans l'air de 4 GBq de <sup>137</sup> Cs est radiologiquement équivalent à 2,4 GBq de <sup>131</sup> I, ce qui est très inférieur à la valeur de classement en fonction du critère de dispersion d'une contamination de « quelques dizaines de gigabecquerels de <sup>131</sup> I ».
Classement en fonction des conséquences réelles	En dessous de l'échelle/niveau 0

### **Exemple 9. Endommagement du combustible dans un réacteur — En dessous de l'échelle/niveau 0**

#### *Description de l'événement*

Pendant que le réacteur était en fonctionnement, une légère augmentation de l'activité du caloporteur a été détectée, signe d'un endommagement mineur du combustible. Cependant, le niveau était tel qu'il a été décidé de poursuivre l'exploitation. En se fondant sur l'activité du caloporteur, l'exploitant a procédé à un arrêt pour rechargement et s'attendait à trouver un petit nombre des 3 400 barres de combustible endommagées. L'inspection a cependant révélé qu'environ 200 barres (6 % du total) étaient endommagées, bien qu'il n'y ait pas eu de fusion ni de rejet significatif de radionucléides à partir du combustible. La cause s'est avérée être la présence dans le caloporteur d'un corps étranger provoquant une surchauffe locale du combustible.

#### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Sans objet. Pas de rejet.
2.3. Doses aux personnes	Sans objet. Pas de doses.
3.2. Barrières et contrôles radiologiques dans les installations	6 % des barres de combustible endommagées ont entraîné le rejet d'environ 0,06 % de l'inventaire du cœur dans le caloporteur. Cela est inférieur au critère correspondant au niveau 4, ce qui donne un classement au niveau 0 en fonction de ce critère.
Classement en fonction des conséquences réelles	En dessous de l'échelle/niveau 0 (le critère de défense en profondeur donnerait un classement plus élevé)

## Exemple 10. Déversement de liquide contaminé par du plutonium sur le sol d'un laboratoire — Niveau 2

### *Description de l'événement*

Un flexible d'apport d'eau de refroidissement à un condenseur en verre d'une boîte à gants s'est détaché. De l'eau a inondé la boîte à gants et a rempli le gant jusqu'à l'éclatement. L'eau déversée contenait environ 2,3 GBq de  $^{239}\text{Pu}$ .

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Sans objet.
2.3. Doses aux personnes	Étant donné que le déversement était sous forme liquide, il n'y a pas eu d'exposition significative du personnel.
3.2. Barrières et contrôles radiologiques dans les installations	Le laboratoire n'était pas conçu pour contenir des liquides déversés. La valeur correspondant au niveau 2 pour des déversements liquides est définie comme radiologiquement équivalente à 10 térabecquerels de $^{99}\text{Mo}$ . D'après la section 3.3, 2,3 GBq de $^{239}\text{Pu}$ ? 130 TBq de $^{99}\text{Mo}$ . La définition correspondant au niveau 3 implique quelques milliers de térabecquerels d'activité ; la valeur de 2,3 GBq est donc très inférieure à ce niveau.
Classement en fonction des conséquences réelles	Niveau 2.

## Exemple 11. Absorption de plutonium dans une installation de retraitement — Niveau 2

### *Description de l'événement*

Quatre employés sont entrés dans une zone contrôlée afin d'effectuer des travaux sur un système de ventilation. Les travaux comprenaient le retrait d'un composant (caisson de ventilation) dans une pièce située dans un bâtiment qui avait abrité une installation de retraitement de plutonium. L'installation ne fonctionnait plus depuis 1957 et était restée en l'état en attente de son démantèlement.

Les travailleurs portaient des équipements de protection et leurs dosimètres. La découpe du caisson de ventilation a duré une heure et quarante minutes et ils ont observé que de la poussière tombait du caisson. Une fois le travail terminé, ils ont quitté la zone et les portiques de surveillance de la contamination individuelle

ont détecté une contamination de leurs vêtements. Les actions immédiates ont consisté à imposer des restrictions de travail pour le personnel contaminé et à entreprendre des estimations de doses par des méthodes d'analyse biologique. D'après les premières estimations, la dose efficace était inférieure à 11 mSv. Par la suite, les doses engagées maximales ont été évaluées entre 24 et 55 mSv pour les personnes concernées. La limite annuelle était à l'époque de 50 mSv.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Sans objet. Pas de rejet dans l'environnement.
2.3. Doses aux personnes	Un travailleur a reçu une dose dépassant la limite annuelle. Le nombre de personnes recevant une telle dose étant inférieur à 10, le classement n'a pas été augmenté à cause du nombre de personnes concernées. Classement au niveau 2.
3.2. Barrières et contrôles radiologiques dans les installations	La contamination s'est produite pendant le déclassement d'un composant spécifique dans une zone qui avait été préparée en vue d'une décontamination potentielle (c'est-à-dire une zone « prévue à la conception »). Le critère n'est donc pas applicable.
Classement en fonction des conséquences réelles	Niveau 2.

## **Exemple 12. Évacuation à proximité d'une centrale nucléaire — Niveau 4**

### *Description de l'événement*

Un accident dans une centrale nucléaire, comportant une surchauffe du combustible, a entraîné la défaillance de la moitié des crayons de combustible et un rejet de matières radioactives. (Une défaillance d'environ la moitié des crayons de combustible, sans fusion importante du combustible, relâche environ 0,5 % de l'inventaire total du cœur). La police locale, en consultation avec l'exploitant et l'autorité de sûreté, a immédiatement pris la décision d'évacuer la population dans un rayon de 2 km autour de la centrale et personne n'a donc reçu de dose dépassant 1 mSv. L'étude du rejet par les experts de l'installation a permis d'évaluer l'activité totale à environ 20 TBq, composée d'environ 10 % de <sup>131</sup>I, 5% de <sup>137</sup>Cs et le reste de gaz rares.

## Justification du classement

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Le fait qu'une évacuation a été entreprise n'a pas d'influence sur le classement. D'après le tableau 2, 1 TBq de $^{137}\text{Cs}$ est radiologiquement équivalent à 40 TBq de $^{131}\text{I}$ , de sorte que le rejet total est radiologiquement équivalent à 42 TBq de $^{131}\text{I}$ , ce qui est proche, pour le classement en fonction des critères concernant le rejet, de la valeur correspondant au niveau 4 (« quelques dizaines à quelques centaines de térabecquerels de $^{131}\text{I}$ »).
2.3. Doses aux personnes	Toutes les doses étant inférieures à 1 mSv, le classement en fonction des doses individuelles est le niveau 0.
3.2. Barrières et contrôles radiologiques dans les installations	Le rejet à partir du combustible atteint la valeur correspondant au niveau 4, « rejet de plus de 0,1 % de l'inventaire du cœur d'un réacteur de puissance à partir des éléments combustibles », mais est inférieur à la valeur correspondant au niveau 5, « rejet de plus de quelques pour cent de l'inventaire du cœur d'un réacteur de puissance à partir des éléments combustibles ».
Classement en fonction des conséquences réelles	Niveau 4.

### Exemple 13. Fusion du cœur d'un réacteur — Niveau 5

#### Description de l'événement

Une vanne du système de condensat est restée bloquée en position fermée, ce qui a réduit la quantité d'eau injectée vers le générateur de vapeur. Les pompes principales d'alimentation et la turbine se sont mises en arrêt d'urgence en quelques secondes.

Les pompes d'alimentation d'urgence, qui ont démarré comme prévu, n'ont pas pu injecter de l'eau dans les générateurs de vapeur parce que plusieurs vannes du système étaient fermées. Les pompes primaires ont continué à faire circuler l'eau dans les générateurs de vapeur, mais il n'a pas été possible d'évacuer la chaleur du côté secondaire car il n'y avait plus d'eau dans les générateurs de vapeur.

La pression a augmenté dans le circuit primaire jusqu'à ce que le réacteur s'arrête. Une vanne de décharge motorisée s'est ouverte dans le circuit entre le pressuriseur et le réservoir de décharge mais, sans que l'opérateur ne s'en aperçoive, cette vanne ne s'est pas refermée, et la vapeur a continué de se décharger dans le réservoir. La pression a baissé dans le circuit de refroidissement

du réacteur. Le disque de rupture du réservoir de décharge s'est ouvert et la vapeur s'est répandue dans le confinement. Comme la pression du caloporteur a baissé, l'eau de la partie supérieure du réacteur (environ 3 à 5 m au-dessus du combustible) a fini par se vaporiser.

Les opérateurs ont arrêté les pompes d'injection de secours car ils croyaient qu'il y avait encore de l'eau dans le pressuriseur. Ils ont aussi arrêté les pompes primaires car ils craignaient de les endommager à cause de vibrations excessives potentielles. Cela a créé un vide de vapeur dans le circuit primaire. De plus, une bulle de vapeur s'est formée dans la partie supérieure du réacteur, au-dessus du combustible. Comme le combustible continuait à chauffer, ce vide s'est étendu, le matériau de la gaine de combustible a surchauffé et plus de 10 % du combustible a fondu. Le système de confinement est resté intact.

Finalement, de l'eau a été injectée dans le circuit primaire de façon à assurer le refroidissement du cœur.

Des études ont montré que le rejet à partir du site était faible et que l'exposition maximale potentielle hors du site a entraîné une dose efficace de 0,8 mSv. Les doses reçues par les travailleurs sont restées très en dessous des limites réglementaires annuelles.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Bien que des données détaillées ne soient pas fournies, on peut déduire des faibles doses que le niveau de rejet dans l'environnement était inférieur de plusieurs ordres de grandeur à la valeur correspondant au niveau 4.
2.3. Doses aux personnes	Les doses aux personnes du public ont été inférieures à 1 mSv et les doses aux travailleurs n'ont pas atteint la limite de dose annuelle réglementaire.
3.2. Barrières et contrôles radiologiques dans les installations	Plus de quelques pour cent du cœur a fondu, ce qui donne un classement au niveau 5.
Classement en fonction des conséquences réelles	Niveau 5.

## **4. ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR LA DÉFENSE EN PROFONDEUR POUR LES ÉVÉNEMENTS LIÉS AU TRANSPORT ET AUX SOURCES DE RAYONNEMENTS**

Le présent chapitre traite des événements qui n'ont pas de « conséquences réelles », mais qui s'accompagnent d'une défaillance de quelques dispositions de sûreté. On appelle « défense en profondeur » la présence délibérée de plusieurs dispositions ou barrières. L'annexe I donne plus d'informations sur le concept de défense en profondeur, en particulier pour les grandes installations.

Les indications du présent chapitre concernent les pratiques liées aux sources de rayonnements et au transport de matières radioactives. Il convient de se reporter au chapitre 6 pour les accélérateurs, les installations de fabrication et de distribution de radionucléides, ou les installations qui utilisent une source de catégorie 1.

La sûreté du public et des travailleurs pendant le transport et l'utilisation de sources de rayonnements est assurée par une bonne conception, une exploitation bien maîtrisée, des contrôles administratifs et un ensemble de systèmes de protection (par exemple, des dispositifs d'interverrouillage, des alarmes et des barrières physiques). On applique le concept de défense en profondeur à ces dispositions de sûreté pour tenir compte de la possibilité de défaillances de matériel, d'erreurs humaines et d'événements imprévus.

La défense en profondeur associe donc plusieurs éléments — conception prudente, assurance de la qualité, activités de surveillance, mesures d'atténuation et culture générale de sûreté — qui se renforcent mutuellement.

La méthodologie de classement INES prend en compte le nombre de dispositions de sûreté qui restent opérationnelles lors d'un événement, ainsi que les conséquences potentielles d'une défaillance de toutes ces dispositions.

En outre, la méthodologie INES prend aussi en compte des « facteurs supplémentaires » (c'est-à-dire les aspects de l'événement qui peuvent indiquer une dégradation plus profonde de la gestion des opérations associées à l'événement).

Le présent chapitre comporte trois parties principales. La première (section 4.1) présente les principes généraux à utiliser pour classer des événements sous l'angle de la défense en profondeur. Comme ces principes doivent couvrir une large gamme d'événements, ils sont généraux. Pour faire en sorte qu'ils soient appliqués de manière homogène, la section 4.2 fournit des indications plus détaillées. La troisième partie (section 4.3) présente un certain nombre d'exemples.

## 4.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS

Bien que l'INES prévoie trois niveaux de classement pour l'impact sur la défense en profondeur, les conséquences potentielles maximales pour certaines pratiques sont limitées par la quantité de matières radioactives présentes et par le mécanisme de rejet, même si toutes les dispositions de sûreté sont défectueuses. Pour ces pratiques, il n'est pas justifié de classer des événements impliquant les dispositifs de défense en profondeur au plus haut niveau possible au titre de la défense en profondeur. Si, pour une pratique donnée, les conséquences potentielles maximales ne peuvent pas donner lieu à un classement supérieur au niveau 4, on peut considérer qu'un classement maximum de l'événement au niveau 2 est approprié sous l'angle de la défense en profondeur. De même, si les conséquences potentielles maximales de l'événement ne peuvent pas être classées au-dessus du niveau 2, le classement maximum d'un événement sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 1.

Après avoir identifié la limite supérieure du classement sous l'angle de la défense en profondeur, il est nécessaire d'examiner les dispositions de sûreté qui sont restées opérationnelles (c'est-à-dire, quelles défaillances supplémentaires des dispositions de sûreté aboutiraient aux conséquences potentielles maximales pour la pratique). Cela implique de prendre en compte les systèmes matériels et administratifs de prévention, de contrôle et d'atténuation, y compris les barrières actives et passives. On prend également en considération les éventuelles questions de culture de sûreté sous-jacentes mises en évidence par l'événement qui auraient pu accroître la probabilité que les conséquences potentielles maximales se produisent.

Il convient donc de suivre les étapes ci-dessous pour classer un événement :

- 1) La limite supérieure de classement au titre de la défense en profondeur doit être établie en déterminant le classement en fonction des conséquences potentielles maximales des pratiques pertinentes, sur la base des critères des chapitres 2 et 3 du présent manuel. Des indications détaillées sur la définition des conséquences potentielles maximales sont données à la section 4.2.1.
- 2) Le classement effectif est alors déterminé comme suit :
  - a) premièrement, en prenant en considération le nombre et de l'efficacité des dispositions de sûreté (matérielles et administratives) qui sont restées opérationnelles pour la prévention, la surveillance et l'atténuation, y compris les barrières passives et actives ;
  - b) deuxièmement, en prenant en considération les aspects de culture de sûreté de l'événement, qui peuvent être révélateurs d'une dégradation

plus poussée des dispositions de sûreté ou des mesures organisationnelles.

Des explications détaillées sur ces deux aspects du processus de classement sont données à la section 4.2.

Au-delà de son étude sous l'angle de la défense en profondeur, chaque événement doit également être analysé en fonction des critères des chapitres 2 et 3 (si ces derniers s'appliquent).

## 4.2. INDICATIONS DÉTAILLÉES POUR LE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS

### 4.2.1. Identification des conséquences potentielles maximales

Les conséquences potentielles maximales sont fonction de la catégorie de la source, basée sur son activité (A) et sa valeur D tirée de la publication Catégorisation des sources radioactives de l'AIEA [1] et de la documentation complémentaire [5]. Les conséquences potentielles maximales ne dépendent pas des circonstances détaillées de l'événement réel. Les valeurs D sont exprimées en termes de niveau d'activité au-dessus duquel une source est considérée comme « dangereuse » et a un potentiel significatif de causer des effets déterministes graves si elle n'est pas gérée en toute sûreté et en toute sécurité. Les valeurs D tirées du guide de sûreté [1], qui mentionne les isotopes les plus courants, sont reproduites à l'appendice III. En cas de besoin, les valeurs D pour d'autres isotopes peuvent être trouvées dans la documentation complémentaire [5].

Le tableau 5 donne la relation entre le rapport A/D, la catégorie de la source et le classement des conséquences potentielles maximales (en cas de défaillance de toutes les dispositions de sûreté). Il indique aussi le classement maximum sous l'angle de la défense en profondeur pour chaque catégorie de source, selon les principes généraux de classement des événements décrits plus haut. Les classements effectifs seront identiques ou inférieurs à ceux qui sont indiqués à la dernière ligne de ce tableau quand on applique les indications de classement de la section 4.2.2.

Étant donné que le classement maximum sous l'angle de la défense en profondeur des sources des catégories 2 et 3 est le même, ces deux catégories de sources seront traitées ensemble dans la suite de la présente section.

Les valeurs D ne s'appliquent pas spécifiquement au combustible nucléaire irradié. Cependant, les événements lors du transport de combustible nucléaire irradié doivent être évalués en appliquant les indications de la section 4.2.2 pour les sources de catégorie 1.

TABLEAU 5. RELATION ENTRE LE RAPPORT A/D, LA CATÉGORIE DE LA SOURCE, LES CONSÉQUENCES POTENTIELLES MAXIMALES ET LE CLASSEMENT SOUS L'ANGLE DE LA DÉFENSE EN PROFONDEUR

Rapport A/D	$0,01 \leq A/D < 1$	$1 \leq A/D < 10$	$10 \leq A/D < 1000$	$1000 \leq A/D$
Catégorie de source	Catégorie 4	Catégorie 3	Catégorie 2	Catégorie 1
Classement en fonction des conséquences potentielles maximales pour une pratique en cas de défaillance de toutes les dispositions de sûreté	2	3	4	5 <sup>a</sup>
Classement maximum sous l'angle de la défense en profondeur	1	2	2	3

<sup>a</sup> Les niveaux supérieurs ne sont pas considérés comme crédibles pour un événement concernant des sources radioactives.

Comme indiqué précédemment, le classement d'événements concernant les accélérateurs se fait selon les indications du chapitre 6. Pour les autres appareils qui sont ou contiennent des sources (« appareils sources »), les indications du présent chapitre s'appliquent. Cependant, il n'existe pas de méthode simple pour catégoriser ces appareils sources en fonction de leurs dimensions, etc. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser les principes généraux de l'INES. Pour les appareils sources pour lesquels aucun événement ne peut provoquer d'effets déterministes, même en cas de défaillance de toutes les dispositions de sûreté, il faut classer les événements en fonction des indications de la section 4.2.2. pour les sources de catégorie 4. Pour les appareils pour lesquels des effets déterministes sont possibles si toutes les dispositions de sûreté sont défaillantes, il faut classer les événements en fonction des indications de la section 4.2.2. pour les sources des catégories 2 et 3.

Les sources de catégorie 5 ne sont pas incluses dans le tableau 5, pas plus qu'elles ne sont prises en considération dans les tableaux de classement de la section 4.2.2. La publication Catégorisation des sources radioactives de l'AIEA [1] explique que les sources de catégorie 5 ne peuvent pas causer de blessures permanentes aux personnes. Par conséquent, les événements impliquant la défaillance des dispositions de sûreté pour ces sources sont seulement classés en dessous de l'échelle/niveau 0 ou au niveau 1 sous l'angle de la défense en

profondeur. Des indications simples permettant de déterminer si c'est un classement en dessous de l'échelle/niveau 0 ou au niveau 1 qui est approprié sont données dans l'introduction de la section 4.2.2.

Lorsqu'un événement met en jeu plusieurs sources ou plusieurs colis, il faut examiner si l'on utilise soit l'activité d'un seul article, soit l'activité totale de l'ensemble des colis/sources. Si la diminution des exigences de sûreté peut affecter tous les articles (par exemple, un incendie), il faut utiliser l'activité totale. Si la diminution des exigences de sûreté ne peut affecter qu'un seul article (par exemple, mauvais étiquetage d'un colis), il faut utiliser l'activité du seul article concerné. L'appendice III donne la méthodologie de calcul d'une valeur D globale.

Pour couvrir la plus grande gamme d'événements possibles, les étapes suivantes doivent être suivies pour prendre en compte les conséquences potentielles maximales lors de l'évaluation d'un événement :

- Si l'activité est connue, la valeur de A/D doit être déterminée en divisant l'activité (A) du radionucléide par la valeur D définie. Le rapport A/D doit être comparé aux rapports A/D du tableau 5 pour attribuer une catégorie de source.
- Si l'activité réelle n'est pas connue (par ex., source non identifiée trouvée dans des déchets métalliques), l'activité doit être estimée à partir des débits de dose connus ou mesurés, et par l'identification du radionucléide. La catégorie doit alors être attribuée en fonction du rapport A/D.
- Si l'activité réelle n'est pas connue et qu'on ne dispose pas de mesures du débit de dose, il faut estimer la catégorie de la source en se fondant sur toute information disponible concernant l'utilisation de la source. L'appendice IV donne des exemples de différentes utilisations de sources et de leur catégorie probable.
- Pour les événements mettant en jeu des colis contenant des matières fissiles (qui ne sont pas « fissiles exceptées » au sens du Règlement de transport [6]) :
  - Si des dispositions de sûreté nécessaires pour empêcher la criticité sont affectées, l'événement doit être classé comme si le colis était une source de catégorie 1.
  - Si la défaillance affecte une disposition de sûreté qui n'est pas liée à la sûreté-criticité, pour du combustible non irradié, le classement doit être basé sur l'activité réelle en utilisant le rapport A/D. Pour du combustible irradié, il faut généralement utiliser la colonne relative aux sources de catégorie 1, même si la valeur réelle du rapport A/D pourrait être calculée et utilisée, si les quantités de matières irradiées sont extrêmement faibles.

## 4.2.2. Classement basé sur l'efficacité des dispositions de sûreté

Les sections ci-après donnent des indications pour le classement de divers types d'événements liés à une dégradation des dispositions de sûreté. La section 4.2.2.2 couvre les événements concernant la perte ou la découverte de sources radioactives, appareils ou colis, la section 4.2.2.3 les événements avec dégradation des dispositions de sûreté, et la section 4.2.2.4 un certain nombre d'autres événements liés à la sûreté.

Dans tous les cas où plusieurs classements sont possibles, il faut prendre en compte les questions sous-jacentes de culture de sûreté. C'est la raison pour laquelle d'autres indications sur ce sujet sont données à la section 4.2.2.1. Dans certains des cas où plusieurs classements sont possibles, d'autres facteurs doivent aussi être pris en compte, et des notes de bas de page donnent des indications à ce propos.

Les événements concernant des sources de catégorie 5 ne sont pas traités ci-après, car ils sont généralement classés en dessous de l'échelle/niveau 0. Cependant, un classement au niveau 1 peut être approprié si toutes les dispositions de sûreté ont été à l'évidence défaillantes, ou si on a la preuve d'une défaillance significative en matière de culture de sûreté. S'il n'y avait aucune intention de mettre en place des contrôles spécifiques sur l'emplacement de sources de catégorie 5, leur perte doit seulement être classée en dessous de l'échelle/niveau 0.

### 4.2.2.1. Prise en compte des problèmes de culture de sûreté

La culture de sûreté a été définie comme « l'ensemble des caractéristiques et des attitudes qui, dans les organismes et chez les personnes, font que les questions de protection et sûreté bénéficient, en tant que priorité absolue, de l'attention qu'elles méritent en raison de leur importance » [7]. Une bonne culture de sûreté permet de prévenir les incidents, mais l'absence de culture de sûreté peut amener des employés à se comporter de manière non conforme aux hypothèses formulées lors de la conception. La culture de sûreté doit donc être considérée comme faisant partie de la défense en profondeur.

Pour être classé à un niveau plus élevé en raison de problèmes de culture de sûreté, l'événement doit être considéré comme un indicateur réel d'un tel problème. On peut donner comme exemples de tels indicateurs :

- Le non-respect de limites autorisées ou de prescriptions, ou le non-respect d'une procédure sans approbation préalable ;
- Une lacune dans le processus d'assurance de la qualité ;
- Une accumulation d'erreurs humaines ;

- Une défaillance du contrôle des matières radioactives, comme un rejet dans l’environnement, une contamination, ou une carence des systèmes de surveillance dosimétrique ; ou
- La répétition d’un événement, lorsqu’il est prouvé que l’exploitant n’a pas fait le nécessaire pour s’assurer que les enseignements ont bien été tirés ou que des mesures correctives ont bien été prises après le premier événement.

Il est important de noter que l’intention ici n’est pas d’entamer une évaluation longue et détaillée, mais bien de voir dans quelle mesure ceux qui classent l’événement peuvent porter un jugement immédiat. Il est souvent difficile, immédiatement après un événement, de déterminer si celui-ci doit faire l’objet d’un classement plus élevé pour des raisons de culture de sûreté. Dans ce cas, un classement provisoire doit être proposé, sur la base de ce qui est connu sur le moment, et le classement final peut prendre en compte les informations complémentaires relatives à la culture de sûreté recueillies lors de l’enquête détaillée.

#### 4.2.2.2. *Événements relatifs à la perte ou à la découverte de sources radioactives ou d’appareils en contenant*

Il faut utiliser le tableau 6 pour classer les événements mettant en jeu des sources radioactives, des appareils en contenant ou des colis, qui ont été égarés, perdus, volés ou trouvés. Si une source, un appareil ou un colis ne peut pas être localisé, il peut, en première approche, être considéré comme « manquant ». Cependant, s’il n’est pas retrouvé après une recherche dans les autres emplacements probables, il doit être considéré comme perdu ou volé, selon les prescriptions nationales.

La perte d’une source, d’un appareil ou d’un colis doit être classée sous l’angle de la dégradation de la défense en profondeur. Si la source, l’appareil ou le colis est retrouvé, la perte initiale et la découverte ultérieure doivent être considérées comme un seul événement. Le classement d’origine doit être revu et l’événement peut être reclassé (vers le haut ou vers le bas) sur la base des informations supplémentaires obtenues. Les informations à prendre en compte sont les suivantes :

- L’emplacement où la source, l’appareil ou le colis a été retrouvé, et comment il est arrivé là ;
- L’état de la source, de l’appareil ou du colis ;
- Le temps pendant lequel la source, l’appareil ou le colis a été perdu ;
- Le nombre de personnes exposées et l’évaluation des doses potentielles reçues.

Le classement revu doit couvrir à la fois le classement d'origine sous l'angle de la défense en profondeur et les conséquences réelles. Dans la plupart des cas, il sera nécessaire d'estimer ou de calculer les doses qui ont été reçues sur la base d'hypothèses réalistes, plutôt que des scénarios les plus pessimistes.

Les sources et les appareils retrouvés sont traités ensemble dans le tableau 6. Une source retrouvée doit être comprise comme une source sans protection. Par contre, un appareil retrouvé est traité comme une source orpheline se trouvant toujours dans un conteneur blindé intact.

Il y a eu de nombreux exemples de sources orphelines perdues ou trouvées passant dans le secteur du recyclage des métaux. En conséquence, il est de plus en plus courant que les négociants de métaux et les fondeurs recherchent de telles sources dans les lots de déchets métalliques qu'ils reçoivent. Le meilleur moyen de classer de tels événements est d'utiliser la ligne « découverte de source » du tableau 6. Si la source a été fondue, il faut retenir le classement le plus élevé. Si la source est découverte avant la fonte, le classement doit dépendre des dispositions de sûreté restées opérationnelles, comme cela est expliqué dans la note a du tableau 6.

Pour les événements associés à du métal contaminé, il se peut qu'il ne soit pas possible d'identifier la catégorie de la source à partir des indications données dans la section 4.2.1. Dans ce cas, il faut mesurer le débit de dose et estimer les doses reçues par les personnes aux alentours. Le classement se fait alors sur la base de ces doses potentielles.

#### *4.2.2.3. Événements comportant une dégradation des dispositions de sûreté*

Le tableau 7 doit être utilisé pour les événements dans lesquels la source, l'appareil ou le colis se trouve à l'emplacement prévu, mais les dispositions de sûreté sont dégradées. Ces dernières incluent des dispositifs matériels comme l'emballage de transport ou le conteneur de la source, d'autres systèmes de blindage ou de confinement, des systèmes d'interverrouillage, ou d'autres dispositifs de sûreté ou d'alarme. Elles incluent aussi des contrôles administratifs comme l'étiquetage des colis, les documents de transport, les procédures de travail et d'urgence, le contrôle radiologique et l'utilisation de dosimètres personnels à alarme. Les installations telles que les irradiateurs utilisant une source de catégorie 1, les unités de thérapie ou les accélérateurs linéaires ont souvent des dispositions de sûreté à haute intégrité. Comme précisé dans l'introduction du présent chapitre, les événements liés à la dégradation des dispositions de sûreté pour ces installations doivent être classés en fonction du chapitre 6.

TABLEAU 6. CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS CONCERNANT DES SOURCES RADIOACTIVES, DES APPAREILS OU DES COLIS, PERDUS OU TROUVÉS

Type d'événement	Classement de l'événement en fonction de la catégorie de la source		
	Cat. 4	Cat. 3 ou Cat. 2	Cat. 1
Source, appareil ou colis manquant, puis retrouvé intact dans un endroit sous contrôle.	1	1	1
Découverte de source, appareil (y compris les sources et appareils orphelins) ou colis.	1	1 ou 2 (Voir note a)	2 ou 3 (Voir note a)
Source, appareil ou colis perdu ou volé et pas encore retrouvé.	1	2	3
Source, appareil ou colis perdu ou volé, puis localisé, s'il est confirmé qu'aucune exposition non planifiée ne s'est produite, mais si la décision a été prise et approuvée de ne pas récupérer la source car elle est dans un endroit sûr ou inaccessible (par ex., sous l'eau).	1	1	1
Colis livré à une mauvaise adresse, mais l'installation réceptrice a toutes les procédures de sûreté radiologique nécessaires pour manipuler le colis.	0 ou 1	1	1

**TABLEAU 6. CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS CONCERNANT DES SOURCES RADIOACTIVES, DES APPAREILS OU DES COLIS, PERDUS OU TROUVÉS (suite)**

Type d'événement	Classement de l'événement en fonction de la catégorie de la source		
	Cat. 4	Cat. 3 ou Cat. 2	Cat. 1
Colis livré à une mauvaise adresse, mais l'installation réceptrice n'a pas toutes les procédures de sûreté radiologique nécessaires pour manipuler le colis.	1	1 ou 2 (Voir note b)	2 ou 3 (Voir note b)

<sup>a</sup> Le classement le plus bas est plus indiqué lorsqu'il est certain que des dispositions de sûreté sont restées opérationnelles et efficaces (par ex., une combinaison de blindage, de dispositifs de verrouillage et d'alarmes).

<sup>b</sup> Le classement le plus bas peut être plus indiqué si l'installation a certaines procédures de sûreté radiologique adaptées.

**TABLEAU 7. CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS COMPORTANT UNE DÉGRADATION DE DISPOSITIONS DE SÛRETÉ<sup>15</sup>**

Type d'événement	Classement de l'événement en fonction de la catégorie de la source		
	Cat. 4	Cat. 3 ou Cat. 2	Cat. 1

**A. Pas de dégradation des dispositions de sûreté**

Bien qu'un événement anormal ait pu se produire, il n'a pas eu d'influence sur l'efficacité des dispositions de sûreté existantes. Événements typiques :

— Dégâts superficiels au blindage et/ou au conteneur de la source, ou sources fuyardes, provoquant une faible contamination de surface et un déversement entraînant une contamination de faible niveau de personnes.	1	1	1
--	---	---	---

<sup>15</sup> Quand plusieurs classements sont possibles, il est important d'évaluer s'il y a des problèmes de culture de sûreté (voir section 4.2.2.1)

**TABEAU 7. CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS COMPORTANT UNE DÉGRADATION DE DISPOSITIONS DE SÛRETÉ<sup>15</sup> (suite)**

Type d'événement	Classement de l'événement en fonction de la catégorie de la source		
	Cat. 4	Cat. 3 ou Cat. 2	Cat. 1
— Dégâts superficiels au blindage ou au conteneur de la source, ou sources fuyardes, provoquant une faible contamination de surface et un déversement entraînant une contamination inhabituelle, mais dont l'importance radiologique est faible ou nulle.	0 ou 1	0 ou 1	0 ou 1
— Contamination dans des zones conçues en fonction de tels événements.	0 ou 1	0 ou 1	0 ou 1
— Événements prévisibles pour lesquels les procédures de sûreté ont permis d'éviter des expositions non prévues et de revenir à des conditions normales. Ceci peut inclure des événements comme le non-retour en position sûre de sources sorties de leur conteneur (par ex., une source gamma de radiographie industrielle ou une source de curiethérapie), dans la mesure où la source est récupérée de façon sûre selon les procédures d'urgence existantes.	0 ou 1	0 ou 1	0 ou 1
— Aucun dommage ou dommage mineur d'un colis, sans augmentation du débit de dose.	0 ou 1	0 ou 1	0 ou 1
<b>B. Dispositions de sûreté restées partiellement opérationnelles</b>			
Une ou plusieurs dispositions de sûreté sont défaillantes (quelle qu'en soit la raison), mais une au moins est toujours efficace. Événements typiques :			
— Défaillance d'une partie d'un système d'alarme ou de sûreté existant conçu pour éviter les expositions à des débits de dose élevés.	0 ou 1 (Voir note a)	1 ou 2 (Voir note a)	(Voir note b)

TABLEAU 7. CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS COMPORTANT UNE DÉGRADATION DE DISPOSITIONS DE SÛRETÉ<sup>15</sup> (suite)

Type d'événement	Classement de l'événement en fonction de la catégorie de la source		
	Cat. 4	Cat. 3 ou Cat. 2	Cat. 1
— Non-respect de procédures de sûreté (y compris le contrôle radiologique et les vérifications de sûreté), mais avec d'autres dispositions de sûreté existantes (matérielles) restées efficaces.	0 ou 1 (Voir note a)	1 ou 2 (Voir note a)	(Voir note b)
— Dégradation significative des systèmes de confinement, ou dispositifs de fermeture défectueux.	0 ou 1 (Voir note a)	1 ou 2 (Voir note a)	(Voir note b)
— Emballage ou arrimages défailants. Dispositifs antifraude n'ayant pas fonctionné.	0 ou 1 (Voir note c)	0 ou 1 (Voir note c)	0 ou 1 (Voir note c)
<b>C. Plus aucune disposition de sûreté opérationnelle</b>			
Événement présentant un risque important d'expositions non planifiées ou de contamination dans des zones non contrôlées.			
Événements typiques :			
— Perte du blindage (par ex., à cause d'un incendie ou d'un choc violent, rendant possible une exposition directe à la source radioactive).	1	1 ou 2 (Voir note d)	2 ou 3 (Voir note e)
— Défaillance des dispositifs d'alarme et de sûreté, telle qu'il est possible d'entrer dans une zone à fort débit de dose.	1	1 ou 2 (Voir note d)	2 ou 3 (Voir note e)
— Défaut de contrôle radiologique, alors qu'il ne reste aucune autre disposition de sûreté opérationnelle (par ex., pour vérifier que des sources gamma sont entièrement rentrées dans leurs conteneurs après une radiographie sur site).	1	1 ou 2 (Voir note d)	2 ou 3 (Voir note e)

TABLEAU 7. CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS COMPORTANT UNE DÉGRADATION DE DISPOSITIONS DE SÛRETÉ<sup>15</sup> (suite)

Type d'événement	Classement de l'événement en fonction de la catégorie de la source		
	Cat. 4	Cat. 3 ou Cat. 2	Cat. 1
— Événements dans lesquels une source reste accidentellement sans protection, et il n'existe pas de procédure efficace pour faire face à la situation, ou les procédures sont ignorées.	1	1 ou 2 (Voir note d)	2 ou 3 (Voir note e)
— Emballage trouvé sans blindage ou avec un blindage inadéquat, alors qu'il existe un important potentiel d'exposition.	1	1 ou 2 (Voir note d)	2 ou 3 (Voir note e)

<sup>a</sup> Le classement le plus bas peut être indiqué si certaines dispositions de sûreté sont toujours opérationnelles et s'il n'y a pas de problème particulier de culture de sûreté. S'il ne reste pour l'essentiel qu'une seule ligne de défense opérationnelle, il faut retenir le classement le plus élevé.

<sup>b</sup> Le classement d'événements comportant une dégradation partielle des dispositions de sûreté pour des sources de catégorie 1 dans des installations doit être déterminé en appliquant la méthode des lignes de défense décrite au chapitre 6. Le classement des autres événements mettant en jeu des sources de catégorie 1 doit être le niveau 1 ou 2, le niveau 1 étant plus indiqué s'il reste plusieurs dispositions de sûreté opérationnelles sans problème particulier de culture de sûreté.

<sup>c</sup> Le niveau le plus élevé serait indiqué, sauf si le degré de dégradation est très faible.

<sup>d</sup> Les conséquences potentielles maximales pour une source de catégorie 3 placée à demeure dans une installation ne peuvent pas être supérieures au niveau 2. Par conséquent, pour des événements dans ce genre d'installations, le classement maximum possible sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 1.

<sup>e</sup> Le niveau 3 n'est indiqué que si les conséquences potentielles maximales peuvent être supérieures au niveau 4. Les événements affectant des installations utilisant des sources de catégorie 1 doivent être classés selon les indications du chapitre 6. L'application de ces indications donnerait un classement de niveau 3 seulement s'il y a un risque de dispersion des matières radioactives. Si l'événement ne concerne que la dégradation des dispositions de sûreté évitant la surexposition des travailleurs, le classement serait le niveau 2.

#### 4.2.2.4. Autres événements liés à la sûreté

Le tableau 8 doit être utilisé pour les événements liés à la sûreté qui ne sont pas couverts par les deux tableaux précédents.

TABLEAU 8. CLASSEMENT DES AUTRES ÉVÉNEMENTS LIÉS À LA SÛRETÉ<sup>16</sup>

Type d'événement	Classement de l'événement en fonction de la catégorie de la source		
	Cat. 4	Cat. 3 ou Cat. 2	Cat. 1
Personne du public recevant, lors d'un seul événement, une dose supérieure aux limites de dose annuelle réglementaires.	1	1	1
Travailleurs ou personnes du public recevant une dose cumulée dépassant les limites de dose annuelle réglementaires.	1	1	1
Absence ou grave insuffisance de dossiers sur l'inventaire des sources, défaillances du suivi dosimétrique.	1	1	1
Rejets dans l'environnement supérieurs aux limites autorisées.	1	1	1
Non-respect des conditions d'autorisation du transport.	1	1	1
Surveillance radiologique inadéquate du transport.	0 ou 1 (Voir note a)	0 ou 1 (Voir note a)	0 ou 1 (Voir note a)
Contamination de colis ou de moyens de transport, lorsque l'importance radiologique de la contamination est faible ou nulle.	0 ou 1	0 ou 1	0 ou 1
Contamination de colis ou de moyens de transport, lorsqu'un certain nombre de mesures révèlent une contamination excessive, supérieure aux limites applicables, et lorsqu'il y a un risque de contamination du public.	1	1	1

<sup>16</sup> Quand plusieurs classements sont possibles, il est important d'évaluer s'il y a des problèmes de culture de sûreté (voir section 4.2.2.1).

TABLEAU 8. CLASSEMENT DES AUTRES ÉVÉNEMENTS LIÉS À LA SÛRETÉ<sup>16</sup> (suite)

Type d'événement	Classement de l'événement en fonction de la catégorie de la source		
	Cat. 4	Cat. 3 ou Cat. 2	Cat. 1
Documents d'expédition, étiquettes de colis ou placards de véhicules incorrects ou absents. Marquage des colis incorrect ou absent.	0 ou 1	0 ou 1	0 ou 1
Présence de matières radioactives dans un colis supposé vide.	1	1 ou 2 (Voir note b)	1, 2 ou 3 (Voir note b)
Présence de matières radioactives dans un emballage du mauvais type ou inapproprié.	0 ou 1 (Voir note c)	1 ou 2 (Voir note c)	2 ou 3 (Voir note c)

<sup>a</sup> Le classement doit prendre en compte le degré d'imprécision de la surveillance, ainsi que les problèmes de culture de sûreté.

<sup>b</sup> Le choix du classement doit prendre en compte les dispositions de sûreté qui pourraient être encore opérationnelles même si le colis était supposé vide.

<sup>c</sup> Le classement le plus élevé dans chaque catégorie s'applique aux situations pour lesquelles l'emballage inapproprié ou du mauvais type aurait pu provoquer des expositions accidentelles.

#### 4.3. EXEMPLES ÉTUDIÉS

##### **Exemple 14. Détachement et récupération d'une source de radiographie industrielle — En dessous de l'échelle/niveau 0**

###### *Description de l'événement*

Des opérations de radiographie industrielle utilisant une source au <sup>192</sup>Ir de 1 TBq étaient en cours dans une usine pétrochimique. Lors d'une exposition, la source s'est détachée de la gaine d'éjection. Le technicien s'en est aperçu en revenant dans la zone avec un détecteur. Les barrières délimitant la zone contrôlée ont été vérifiées et laissées en place, et de l'aide a été demandée aux autorités nationales. Celles-ci et les agents de l'entreprise de radiographie ont planifié ensemble une opération de récupération. Douze heures après la découverte de l'événement, la source a été récupérée. Les doses reçues (par trois personnes) pendant cet événement, y compris la récupération de la source, ont toutes été inférieures à 1 mSv.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Les doses reçues sont inférieures au seuil correspondant au niveau 1.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La valeur D pour le $^{192}\text{Ir}$ est de 0,08 TBq. Le rapport A/D est donc de 12 (source de catégorie 2).
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	Il s'agit d'un événement prévisible en radiographie industrielle et des plans d'urgence et du matériel pour faire face à une telle situation doivent être disponibles. Le contrôle radiologique par le technicien a été efficace. D'après le quatrième point de la section A du tableau 7, « Événements prévisibles pour lesquels les procédures de sûreté ont permis d'éviter des expositions non prévues et de revenir à des conditions normales », le classement doit être soit en dessous de l'échelle/niveau 0, soit le niveau 1. On retient le niveau 0, car il n'y a pas d'indice de problème de culture de sûreté.
Classement global	En dessous de l'échelle/niveau 0.

### **Exemple 15. Déraillement d'un train transportant du combustible usé — En dessous de l'échelle/niveau 0**

#### *Description de l'événement*

Un train de trois wagons, contenant chacun un colis de combustible usé, a déraillé à la vitesse de 28 km/h. Lors du passage du train, un rail s'est brisé, entraînant le déraillement de deux des wagons, qui sont toutefois restés verticaux. Le troisième était incliné et a dû être stabilisé. Trente-six heures plus tard, les wagons étaient de nouveau en route. L'événement n'a pas eu de conséquences radiologiques.

### Justification du classement

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Néant.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	Les colis de combustible usé doivent être classés selon les indications concernant les sources de catégorie 1.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	D'après le cinquième point de la section A du tableau 7, « Aucun dommage ou dommage mineur d'un colis, sans augmentation du débit de dose », le classement doit être soit en dessous de l'échelle/niveau 0, soit le niveau 1. On retient le niveau 0, car il n'y a pas d'indice de problème de culture de sûreté.
Classement global	En dessous de l'échelle/niveau 0.

### Exemple 16. Colis endommagé par un chariot élévateur — En dessous de l'échelle/niveau 0

#### Description de l'événement

L'endommagement d'un colis de type A est signalé dans un aéroport. Les rapports préliminaires semblent montrer que le colis a été éraflé par la roue d'un chariot élévateur. Il a été demandé à l'expéditeur d'estimer les dommages subis par le colis et de déterminer la procédure à suivre. Le contenu (deux sources de 1,98 MBq de  $^{252}\text{Cf}$ ) a été reconditionné par l'expéditeur afin de permettre son transport. L'expéditeur disposait aussi d'un suremballage pour colis de type A permettant le renvoi au lieu d'origine. Il a été confirmé que l'emballage extérieur d'origine n'avait été que légèrement endommagé.

#### Justification du classement

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Les doses reçues ont été inférieures à celles correspondant au niveau 1.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La valeur D pour le $^{252}\text{Cf}$ est de 0,02 TBq, ce qui donne un rapport A/D < 0,01. Le colis contenait donc des sources de catégorie 5.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	Il n'y a pas eu de dégradation des dispositions de sûreté. Conformément à l'introduction de la section 4.2.2, l'événement est classé en dessous de l'échelle/niveau 0.
Classement global	En dessous de l'échelle/niveau 0.

## Exemple 17. Vol d'une source de radiographie industrielle — Niveau 1

### *Description de l'événement*

Le vol d'un appareil de radiographie industrielle contenant une source de 4 TBq de  $^{192}\text{Ir}$  a été déclaré aux autorités nationales. Un communiqué de presse a été publié et une recherche de l'appareil dans les zones environnantes a été effectuée. Vingt-quatre heures plus tard, l'appareil a été retrouvé dans un fossé le long d'une autoroute. Il était intact. Personne ne semble avoir été exposé.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Il n'y a eu ni exposition de personnes, ni rejet d'activité.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La valeur D pour le $^{192}\text{Ir}$ est de 0,08 TBq, ce qui donne un rapport A/D de 50. La source est donc de catégorie 2.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	L'événement initial est la perte ou le vol d'une source de catégorie 2. D'après la troisième ligne du tableau 6, le classement est donc le niveau 2. Lorsque l'appareil a été retrouvé, on a pu revoir le classement. L'appareil ayant été retrouvé intact, et aucune effraction n'ayant été constatée, l'événement a été reclassé au niveau 1, en appliquant la deuxième ligne du tableau 6.
Classement global	Niveau 1.

## Exemple 18. Découverte de plusieurs sources dans des déchets métalliques — Niveau 1

### *Description de l'événement*

Un portique chez un ferrailleur a détecté la présence de radioactivité dans des déchets, et la société a prévenu l'autorité compétente. À l'aide d'appareils de mesure portatifs, l'autorité a mesuré, à la surface d'un conteneur de 12 mètres, un débit de dose élevé de 30  $\mu\text{Sv/h}$ . Le conteneur a été déchargé par une société spécialisée dans la détection et la récupération de sources dans les déchets. Trois boîtiers identiques en acier inoxydable ont été découverts, chacun contenant une source de  $^{137}\text{Cs}$ , mais sans mécanisme de fermeture. Deux des boîtiers portaient des marques d'identification, ce qui a permis de les caractériser comme des sources de 2 GBq de  $^{137}\text{Cs}$  et 8 GBq de  $^{137}\text{Cs}$ . Le débit de dose à la surface de chacun des trois boîtiers était de 4,5, 4,2 et 17 mSv/h, et l'activité de chacune des sources était environ de 1,85 GBq, 1,85 GBq et 7,4 GBq. Le conteneur de déchets

était en transit depuis près d'un mois, mais l'origine des sources n'a pas pu être déterminée. Les sources ont été sécurisées et envoyées dans une installation appropriée de déchets radioactifs.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Concernant les doses qui auraient pu être reçues pendant le transport ou la manutention de ces sources, il ne semble pas vraisemblable que des doses supérieures à 10 mSv aient pu être reçues, ou que plus de dix personnes aient pu être exposées. Ceci conduit à un classement au niveau 1.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	Deux des sources ont été identifiées comme étant des sources de $^{137}\text{Cs}$ . D'après les débits de dose et l'activité mesurés, la troisième source a pu être identifiée comme du même type que la source de plus faible activité. La valeur D du $^{137}\text{Cs}$ est $1 \times 10^{-1}$ TBq. L'activité totale des sources était de 11,1 GBq, soit un rapport A/D de 0,01 $A/D < 1$ . Il s'agissait donc de sources de catégorie 4.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	L'événement est la découverte de trois sources orphelines. D'après la deuxième ligne du tableau 6 le niveau 1 est indiqué.
Classement global	Niveau 1.

## **Exemple 19. Perte d'un densimètre — Niveau 1**

### *Description de l'événement*

Un densimètre a été perdu et présumé volé dans un camion sur un chantier. Il contenait une source de  $^{137}\text{Cs}$  (0,47 GBq) et une source de neutrons  $^{241}\text{Am/Be}$  (1,6 GBq). La perte a été signalée aux autorités nationales, un communiqué de presse a été publié et une enquête a été entreprise dans les alentours. Le densimètre a été retrouvé quelques jours plus tard sans dommage apparent.

## Justification du classement

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Néant.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	Il est nécessaire de calculer la valeur A/D globale comme cela est expliqué dans l'appendice III. La valeur D pour le $^{137}\text{Cs}$ est de 0,1 TBq, et l'activité de la source correspondante est de 0,47 GBq. La valeur D pour $^{241}\text{Am/Be}$ est de 0,06 TBq, et l'activité de la source correspondante est de 1,6 GBq. Ceci donne une valeur globale du rapport A/D de $0,47/100 + 1,6/60 = 0,031$ . Le rapport A/D global se situe donc entre 0,01 et 1, ce qui fait que la source peut être classée en catégorie 4.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	D'après la deuxième ligne du tableau 6, le niveau 1 est indiqué. La récupération de l'appareil a permis de réévaluer l'événement en tant que « source perdue ou volée puis localisée » (quatrième ligne), événement qui, pour une source de catégorie 4, reste classé au niveau 1.
Classement global	Niveau 1.

### Exemple 20. Vol d'une source radioactive pendant le transport — Niveau 1

#### Description de l'événement

Un colis supposé contenir une source scellée de 1,85 GBq de  $^{60}\text{Co}$  a été découvert vide lors de sa réception. La source a été retrouvée sept heures plus tard dans un camion de livraison. Le colis avait été ouvert volontairement. Une source de 1,85 GBq de  $^{60}\text{Co}$  a un débit de dose de 0,5 mSv/h à 1 m.

L'événement résultait directement de l'inobservation de la réglementation du transport de matières radioactives :

- Les scellés de sécurité exigés par la réglementation n'avaient pas été posés sur le colis ;
- La déclaration d'expédition n'avait pas été remplie ; et
- L'étiquette « Radioactive » n'était pas apposée sur le conteneur (encore que ceci n'a jamais été formellement établi).

## Justification du classement

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	En se fondant sur l'enquête réalisée auprès du personnel concerné, et sur les scénarios probables de ce qui a pu arriver à la source, des évaluations de doses ont été effectuées. Ces dernières ont montré que ni le conducteur ni le personnel de livraison n'avait reçu de dose mesurable.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La valeur D pour le $^{60}\text{Co}$ est de 0,03 TBq, soit un rapport A/D compris entre 0,01 et 1. Il s'agit donc d'une source de catégorie 4.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	D'après la 5 <sup>e</sup> ligne de la section C du tableau 7, « Emballage trouvé sans blindage ou avec un blindage inadéquat, alors qu'il existe un important potentiel d'exposition », le classement est le niveau 1.
Classement global	Niveau 1.

### Exemple 21. Déversement de matière radioactive dans un service de médecine nucléaire — Niveau 1

#### Description de l'événement

Un chariot servant à transférer des radionucléides de la pharmacie à la salle d'injection et de traitement dans un hôpital a été impliqué dans une collision. L'événement s'est produit dans un couloir de l'hôpital. Un flacon uni-dose de  $^{131}\text{I}$  (4 GBq sous forme liquide) a été renversé par terre. Deux personnes (une infirmière et un patient) ont été contaminées (mains, vêtements externes et chaussures), chacune par une activité estimée à 10 MBq de  $^{131}\text{I}$ . Le personnel du service de médecine nucléaire a été appelé et les deux personnes ont été décontaminées dans l'heure suivant l'événement.

Les doses estimées aux deux personnes étaient minimales (inférieures à 0,5 mSv de dose efficace engagée). La zone où le liquide s'est déversé a été fermée temporairement pendant deux semaines (équivalent à deux périodes de l'isotope), puis a été décontaminée par le personnel du service de médecine nucléaire.

## Justification du classement

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Les doses reçues sont inférieures à la valeur correspondant au niveau 1.
3.2. Barrières et contrôles radiologiques dans les installations	Sans objet car l'installation ne manipulait pas de grandes quantités de matières radioactives (voir le 1 <sup>er</sup> paragraphe de la section 3.1).
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La valeur D pour le <sup>131</sup> I est de 0,2 TBq, soit un rapport A/D compris entre 0,01 et 1. C'est donc une source de catégorie 4.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	À partir du moment où le conteneur de la source s'est brisé, il ne restait plus de disposition de sûreté opérationnelle. Il faut donc appliquer la section C du tableau 7, ce qui donne un classement au niveau 1.
Classement final	Niveau 1.

### Exemple 22. Collision ferroviaire mettant en jeu des colis de matières radioactives — Niveau 1

#### Description de l'événement

Une collision s'est produite entre un train et un véhicule transportant des bagages qui traversait la voie ferrée dans une gare.

Parmi ces bagages se trouvaient des colis de type A : sept cartons contenant divers radionucléides, et deux fûts contenant chacun un générateur de technétium (à partir de molybdène), pour une activité totale de 15 GBq (30 GBq au début du transport).

Étant légers, les cartons n'ont été que légèrement endommagés et aucune matière radioactive ne s'en est échappée. Cependant, les deux fûts ont été éjectés des bagages et le conteneur d'une source s'est brisé, contaminant la cabine de la locomotive et le ballast des voies. Sur les 291 personnes examinées, 19 présentaient une contamination qui n'a pas été considérée comme importante. Toutes les doses reçues étaient inférieures à 0,1 mSv. Les niveaux de contamination n'ont pas été considérés comme préoccupants étant donné les faibles quantités de radionucléides en jeu et leurs courtes périodes.

Un important volume de matériel de décontamination a été mis en œuvre. Deux voies ont été fermées pendant une journée, et la locomotive a été décontaminée.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Les doses reçues étaient inférieures à la valeur correspondant au niveau 1.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La valeur D de $^{99}\text{Mo}$ est de 300 GBq (valeur incluant les effets du produit de filiation Tc), soit un rapport A/D compris entre 0,01 et 1. Les sources sont donc de catégorie 4.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	Quand le conteneur de la source s'est brisé, il ne restait plus aucune disposition de sûreté opérationnelle. Il faut donc appliquer la section C du tableau 7, ce qui donne un classement au niveau 1.
Classement final	Niveau 1.

### **Exemple 23. Découverte de matières nucléaires dans des conteneurs de transport supposés vides — Niveau 1**

#### *Description de l'événement*

Une installation de fabrication de combustible reçoit régulièrement de l'étranger de l'oxyde d'uranium légèrement enrichi en  $^{235}\text{U}$ . Les matières sont transportées dans des récipients spéciaux scellés mécaniquement conditionnés dans un conteneur maritime. Après avoir enlevé la matière, le fabricant de combustible renvoie les récipients vides au fournisseur.

À la réception d'un conteneur de 150 récipients supposés vides, le fournisseur d'oxyde d'uranium a découvert que deux d'entre eux contenaient un total de 100 kg d'oxyde d'uranium. L'activité estimée des matières était de 8 GBq. La surface extérieure des récipients et le conteneur maritime n'étaient pas contaminés. Aucun travailleur ni membre du public n'a reçu de dose non prévue du fait de cet événement.

## Justification du classement

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Néant.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La criticité n'était pas un problème étant donné le faible enrichissement de l'uranium. L'événement doit donc être classé en calculant une catégorie de source « équivalente » sur la base du rapport A/D. (Voir le dernier point de la section 4.2.1.) La valeur D n'est pas spécifiée dans l'annexe III, mais est donnée en [5]. Pour un enrichissement inférieur à 10 %, ce qui est le cas ici, la valeur D est tellement élevée qu'elle est considérée comme illimitée. Par conséquent, le rapport A/D est $<0,01$ ce qui signifie que la matière peut être traitée comme une source de catégorie 5.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	Bien que l'emballage des récipients vides ait été le même que s'ils avaient été pleins (le scellé mécanique était toujours en place et l'état du conteneur était le même), l'étiquetage en vue du transport était moins rigoureux et les précautions de manutention légèrement moins strictes. Le point crucial est que des limites autorisées ont été dépassées. Il y a eu de sérieux problèmes de culture de sûreté associés à cet événement et certaines dispositions de sûreté ont été défectueuses. Par conséquent, en appliquant le troisième paragraphe de la section 4.2.2, l'événement est classé au niveau 1.
Classement final	Niveau 1.

### Exemple 24. Dose suspecte enregistrée par un dosimètre photographique — Niveau 1

#### Description de l'événement

Le dosimètre photographique d'une technicienne de radiologie dans un hôpital indiquait un niveau d'exposition annuelle cumulée de 95 mSv. Cette information a été découverte au cours d'une inspection dans l'hôpital où elle travaillait. Les autorités de sûreté ont inspecté soigneusement l'hôpital et ont découvert qu'un des relevés mensuels d'exposition de la personne indiquait 54 mSv. En dépit de cette dose, l'hôpital n'avait pris aucune mesure jusqu'à l'inspection. L'hôpital ne dispose pas de générateur de rayonnements tel qu'un accélérateur linéaire (LINAC), et on n'a trouvé aucune explication valable de cette surexposition. Aucune malveillance de la part d'un collègue n'a pu être mise en évidence, en dépit de certains soupçons. Un examen médical, incluant un test sanguin, n'a permis de détecter aucune anomalie. La personne ne présentait

aucun symptôme révélateur d'un effet déterministe. Elle a été transférée à un autre service et a reçu une formation supplémentaire. Retenant l'hypothèse la plus pessimiste de la réalité de la dose, la direction de l'hôpital a interdit l'entrée des zones contrôlées à la technicienne.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	<p>Aucun effet déterministe n'a été observé sur cette technicienne. Bien que les tests sanguins aient démontré qu'aucune dose importante n'avait été reçue, l'absence de radioexposition n'est pas prouvée. Une enquête détaillée a été effectuée pour déterminer s'il y avait eu exposition aux rayonnements ou non.</p> <p>L'enquête a pris en compte :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) L'absence de toute source de rayonnements de forte intensité dans l'environnement de travail normal de la personne ou aux endroits où elle s'est rendue depuis la mise en service de son dosimètre ;</li> <li>2) Les niveaux d'exposition normaux enregistrés par les dosimètres des collègues qui étaient toujours auprès d'elle pendant les périodes d'exposition potentielle ;</li> <li>3) Les autres dosimètres portés pendant une partie de la période prise en compte.</li> </ol> <p>L'enquête a finalement conclu que la technicienne n'avait pas été exposée à des rayonnements, et que la dose devait être effacée de son dossier de suivi dosimétrique.</p>
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	Sans objet.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	Bien qu'il n'y ait pas eu de dose réelle reçue, l'événement est révélateur d'autres facteurs, comme l'absence de surveillance des relevés dosimétriques du personnel, et l'absence de suivi après un relevé inhabituel. En appliquant la troisième ligne du tableau 8, l'événement est classé au niveau 1.
Classement final	Niveau 1.

## Exemple 25. Fonte d'une source orpheline — Niveau 2

### *Description de l'événement*

Une source orpheline de 1 TBq de  $^{137}\text{Cs}$  incluse par inadvertance dans des déchets métalliques a été fondue dans une aciérie. Cinquante employés de l'usine ont reçu chacun une dose estimée à 0,3 mSv.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.2. Activité rejetée	Il a été estimé que 10 % de l'activité avaient été rejetés lors de la fonte, ce qui correspond à un rejet en suspension dans l'air de 0,1 TBq de $^{137}\text{Cs}$ . La valeur $D_2$ pour le $^{137}\text{Cs}$ est de 0,1 TBq. Le rejet est donc très inférieur au critère correspondant au niveau 5 (2 500 fois la valeur $D_2$ - voir la section 2.2.2).
2.3. Doses aux personnes	Les doses reçues étaient inférieures à la valeur correspondant au niveau 1.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La valeur D pour le $^{137}\text{Cs}$ est de $1 \times 10^{-1}$ TBq, et l'activité (A) de la source est de 1 TBq. Le rapport A/D est donc compris entre 1 000 et 10. Par conséquent, la source est classée comme source de catégorie 2.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	D'après la deuxième ligne du tableau 6, l'événement doit être classé au niveau 1 ou 2. Étant donné que la source a été fondue, le classement final doit être le niveau 2 (voir la note a du tableau 6).
Classement final	Niveau 2.

## Exemple 26. Perte d'une source de radiothérapie de forte activité — Niveau 3

### *Description de l'événement*

La vérification de l'inventaire des sources d'un hôpital qui avait été fermé pendant un certain temps a révélé la disparition d'une tête de téléthérapie contenant une source de 100 TBq de  $^{60}\text{Co}$ . Cette tête était stockée dans une installation spéciale, mais l'inventaire n'avait pas été vérifié depuis plusieurs semaines. On a supposé que la tête avait été sortie de l'hôpital par des personnes non autorisées. Une recherche a été effectuée et, le lendemain, la source a été localisée sur un terrain vague situé à deux kilomètres. La tête de radiothérapie

avait été démontée et la source était non protégée, mais intacte. Elle a été récupérée par les autorités nationales.

L'enquête qui a suivi a révélé que plusieurs personnes avaient été exposées lors de cet événement :

- Pour une personne : 20 Gy aux mains, dose efficace de 500 mSv. Lésions radio-induites sur une main, nécessitant des greffes de peau et l'amputation d'un doigt ;
- Pour deux personnes : 2 Gy aux mains, dose efficace de 400 mSv ;
- Pour douze personnes : dose efficace de 100 mSv. (La limite de dose réglementaire annuelle au corps entier est de 20 mSv pour les travailleurs.)

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2.3. Doses aux personnes	Trois personnes ont reçu des doses supérieures à dix fois la limite de dose annuelle réglementaire au corps entier pour les travailleurs. Une des personnes souffre d'effets sanitaires. Ces deux éléments donnent un classement de niveau 3. Douze personnes ont reçu des doses supérieures à 10 mSv. D'après la dose reçue, le classement est le niveau 2, et il doit être relevé au niveau 3 à cause du nombre de personnes affectées.
4.2.1. Conséquences potentielles maximales	La valeur D pour le $^{60}\text{Co}$ est de 0,03 TBq. Le rapport A/D est supérieur à 1 000. La source est donc de catégorie 1.
4.2.2. Efficacité des dispositions de sûreté	Le classement initial a été établi avant que la source ne soit retrouvée. L'événement est donc la perte ou le vol d'une source ou d'un appareil. D'après le tableau 6, il doit être classé au niveau 3.
Classement final	Niveau 3.

## **5. ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR LA DÉFENSE EN PROFONDEUR POUR LES ÉVÉNEMENTS SURVENUS DANS DES RÉACTEURS DE PUISSANCE EN FONCTIONNEMENT**

Le présent chapitre traite des événements qui n'ont pas eu de « conséquences réelles », mais pour lesquels certaines dispositions de sûreté ont été défaillantes. L'inclusion systématique de multiples dispositions ou barrières constitue la « défense en profondeur ».

Le concept de défense en profondeur n'est pas expliqué en détail ici, car on suppose qu'il est bien connu de la majorité des personnes utilisant le présent manuel dans le cas des réacteurs de puissance. Néanmoins, l'annexe I présente quelques informations complémentaires sur ce concept.

Le présent chapitre s'applique tout particulièrement au classement d'événements survenant dans des réacteurs en fonctionnement, mais il peut aussi être utilisé pour classer des événements survenant lors d'un arrêt à chaud ou au démarrage du réacteur car les conditions de sûreté sont alors très semblables à celles d'un réacteur en fonctionnement. Cependant, une fois que le réacteur est à l'arrêt, même si certains systèmes de sûreté sont encore nécessaires pour assurer les fonctions de sûreté, on dispose généralement de plus de temps. Par ailleurs, à l'arrêt, les configurations des barrières sont parfois très différentes (par exemple circuit de refroidissement primaire ouvert, confinement ouvert). C'est pourquoi on propose une approche différente pour classer les événements, qui doivent généralement l'être selon les indications du chapitre 6. Cependant, si l'argumentaire de sûreté approuvé d'une installation est fondé sur l'approche « initiateur » et « systèmes de sûreté », il peut être possible d'utiliser l'approche « initiateur » décrite dans le présent chapitre pour classer les événements.

Les événements survenant dans des réacteurs en cours de déclassement dont le combustible a été retiré doivent aussi être classés en utilisant le chapitre 6 ; il en est de même de tout événement survenant dans un réacteur de recherche, de façon à prendre en compte toutes les conséquences potentielles maximales et la philosophie de conception.

Une même installation peut bien sûr regrouper plusieurs pratiques et chacune d'entre elles doit être examinée séparément dans ce contexte. Par exemple, l'exploitation d'un réacteur, le travail en cellule chaude et l'entreposage de déchets doivent être considérés comme des pratiques distinctes bien qu'elles puissent toutes se dérouler dans la même installation. Le classement d'événements associés aux cellules chaudes ou à l'entreposage de déchets doit être effectué selon les indications du chapitre 6. Le présent chapitre est spécifique aux événements associés aux réacteurs de puissance en fonctionnement.

On procède au classement en évaluant la probabilité que l'événement aurait pu entraîner un accident, non pas en utilisant directement les techniques probabilistes, mais en examinant si les dispositions de sûreté ont été sollicitées et quelles autres défaillances de ces dispositions auraient été nécessaires pour entraîner un accident. Un « classement de base » est ainsi établi en tenant compte du nombre et de l'efficacité des dispositions de sûreté (matérielles et administratives) disponibles pour la prévention, le contrôle et l'atténuation, y compris les barrières passives et actives.

Pour tenir compte de « facteurs supplémentaires » sous-jacents, il est aussi possible d'augmenter le « classement de base ». Cette augmentation permet de tenir compte des aspects de l'événement qui peuvent indiquer une dégradation plus poussée de la centrale ou de l'organisation de l'installation. Les facteurs à prendre en considération sont les défaillances de cause commune, l'inadéquation des procédures et les lacunes dans la culture de sûreté. Ces facteurs peuvent ne pas avoir été inclus dans le classement de base et peuvent révéler que l'importance de l'événement par rapport à la défense en profondeur est plus grande que celle envisagée dans le classement de base. En conséquence, on peut envisager d'augmenter le classement d'un niveau pour communiquer au public l'importance réelle de l'événement.

Les deux autres chapitres concernant la défense en profondeur donnent des indications sur les « conséquences potentielles maximales » des événements. Cependant, cet aspect n'a pas à être pris en compte ici car la quantité de matières radioactives dans un réacteur de puissance est telle que, en cas de défaillance de toutes les dispositions de sûreté, un accident classé au niveau 5 ou au-dessus est possible. Le niveau maximal de classement sous l'angle de la défense en profondeur est donc le niveau 3.

Le présent chapitre comporte trois sections principales. La première indique comment établir le classement de base d'événements se produisant dans un réacteur en fonctionnement (approche « initiateur »). La deuxième (section 5.2) donne des indications concernant l'augmentation du niveau de classement des événements. La section 5.3 présente un certain nombre d'exemples étudiés.

## 5.1. ÉTABLISSEMENT DU CLASSEMENT DE BASE COMPTE TENU DE L'EFFICACITÉ DES DISPOSITIONS DE SÛRETÉ

Étant donné que l'analyse de la sûreté des réacteurs de puissance en fonctionnement se conforme à une pratique internationale commune, il est possible de fournir des indications assez spécifiques sur l'évaluation des dispositions de sûreté pour des événements concernant des réacteurs en fonctionnement. L'approche est basée sur l'analyse des initiateurs, des fonctions

de sûreté et des systèmes de sûreté. Ces termes sont familiers pour les spécialistes de l'analyse de la sûreté, mais ils sont expliqués ci-après.

Un initiateur, ou événement initiateur, est un événement identifié qui entraîne un écart par rapport au fonctionnement normal et sollicite une ou plusieurs fonctions de sûreté. Les initiateurs sont utilisés dans l'analyse de la sûreté pour évaluer l'adéquation des systèmes de sûreté installés : l'initiateur est un événement qui sollicite les systèmes de sûreté et requiert leur fonctionnement.

Les événements ayant un impact sur la défense en profondeur sont généralement de deux ordres :

- 1) Soit ils incluent un initiateur (événement initiateur) nécessitant le fonctionnement de systèmes de sûreté particuliers prévus pour faire face aux conséquences de cet initiateur ;
- 2) Soit ils comportent une dégradation de la disponibilité d'un ou de plusieurs systèmes de sûreté en l'absence de l'initiateur pour lequel les systèmes de sûreté ont été prévus.

Dans les deux cas, le niveau de disponibilité des systèmes de sûreté permet de déterminer un niveau de disponibilité de la fonction de sûreté dans son ensemble, sachant que plusieurs systèmes de sûreté peuvent contribuer à une même fonction de sûreté. C'est ce niveau de disponibilité de la fonction de sûreté qui est important pour établir le classement.

Dans le premier cas, le classement de l'événement dépend principalement du degré de dégradation de la disponibilité de la fonction de sûreté. Cependant, il dépend également de la fréquence prévue de l'initiateur considéré.

Dans le second cas, il n'y a pas réellement d'écart par rapport au fonctionnement normal de la centrale, mais la dégradation observée de la disponibilité de la fonction de sûreté aurait pu avoir des conséquences importantes si l'un des initiateurs pour lesquels les systèmes de sûreté dégradés étaient prévus s'était effectivement produit. Dans ce cas, le classement dépend :

- De la fréquence prévue de l'initiateur potentiel ;
- De la disponibilité de la fonction de sûreté correspondante, qui dépend de la disponibilité de systèmes de sûreté spécifiques.

Il est à noter qu'un événement donné peut être considéré sous ces deux aspects (voir les sections 5.1.3 et 5.1.4 ainsi que l'exemple 35).

On peut illustrer ces principes en prenant l'exemple d'un réacteur dont la protection contre la perte de réseau est assurée par quatre groupes diesels principaux. Pour qu'un accident se produise, il faut qu'un événement vienne dégrader la sûreté du réacteur (dans cet exemple, perte de réseau) et la protection

doit être défaillante (dans cet exemple, aucun des diesels ne réussit à démarrer). L'événement initial qui met en cause la sûreté de la centrale (perte de réseau) est appelé « initiateur » et la réaction des diesels est définie par la « disponibilité de la fonction de sûreté » (dans cet exemple, la fonction de sûreté concernée est le refroidissement après l'arrêt d'urgence). Donc, pour qu'un accident se produise, il faut un initiateur et une disponibilité insuffisante d'une fonction de sûreté.

Le classement sous l'angle de la défense en profondeur permet une approximation plus précise de la probabilité qu'un accident survienne (par ex., apparition de l'initiateur, sa probabilité et la disponibilité des fonctions de sûreté). Dans l'exemple précédent, s'il y avait eu perte de réseau mais que tous les diesels avaient démarré comme prévu, un accident était peu probable (un tel événement serait probablement classé en dessous de l'échelle/niveau 0). De même, si un diesel avait été défaillant pendant un essai, mais que les autres étaient disponibles ainsi que l'alimentation externe, un accident était alors peu probable (un tel événement serait probablement également classé en dessous de l'échelle/niveau 0).

Toutefois, si on constatait que tous les diesels étaient indisponibles depuis un mois alors que le réacteur était en fonctionnement, même si le réseau était disponible et que les diesels n'étaient pas sollicités, un accident serait relativement probable étant donné que le risque de perte de réseau est relativement élevé (un tel événement serait probablement classé au niveau 3 à condition qu'il n'y ait pas d'autres dispositions de sûreté).

La procédure de classement consiste donc à se demander si les fonctions de sûreté auraient été sollicitées (pour le cas où un initiateur serait survenu), quelle est la probabilité estimée de l'initiateur et quel est le niveau de disponibilité des fonctions de sûreté requises.

L'approche pour le classement de ces événements consiste à identifier la fréquence des initiateurs pertinents et la disponibilité des fonctions de sûreté correspondantes. Deux tableaux sont utilisés pour déterminer le classement de base approprié (voir les sections 5.1.3 et 5.1.4). Des indications détaillées concernant chaque étape du classement sont fournies ci-après.

### **5.1.1. Détermination de la fréquence des initiateurs**

Quatre catégories de fréquence ont été définies :

1) *Attendu*

Cette catégorie comprend les initiateurs dont on s'attend à ce qu'ils se produisent une fois ou plusieurs fois pendant la durée de vie de la centrale (à savoir,  $> 10^{-2}$  par an).

- 2) *Possible*  
Initiateurs qui ne sont pas attendus, mais dont la fréquence prévue ( $f$ ) au cours de la vie de la centrale est supérieure à 1 % environ (soit  $10^{-4} < f < 10^{-2}$  par an).
- 3) *Improbable*  
Initiateurs qui ont été pris en compte dans la conception de la centrale, mais qui sont moins probables que les précédents ( $\leq 10^{-4}$  par an).
- 4) *Hors dimensionnement*  
Initiateurs très rares, qui a priori n'ont pas été pris en compte dans l'analyse standard de la sûreté de la centrale. Lorsque des systèmes de sûreté sont prévus pour faire face à ces initiateurs, ils ne comportent pas obligatoirement le même degré de redondance ou de diversité que les mesures prises contre les initiateurs de référence.

Chaque réacteur a ses propres liste et classification des initiateurs qui font partie de l'analyse de la sûreté et qu'il faut utiliser lors du classement des événements. Des exemples classiques d'initiateurs de référence, utilisés dans le passé pour différentes filières de réacteurs sont donnés en annexe II et sont classés selon les catégories de fréquence ci-dessus. Ils peuvent servir de guide dans le processus de classement, mais il est important, chaque fois que cela est possible, d'utiliser de préférence les initiateurs et les fréquences spécifiques à la centrale dans laquelle l'événement s'est produit.

Les petites perturbations de la centrale corrigées par les systèmes de commande (par opposition aux systèmes de sûreté) ne sont pas considérées comme des initiateurs. Cependant, si les systèmes de commande ne parviennent pas à stabiliser le réacteur, cela peut éventuellement conduire à un initiateur. C'est pourquoi l'initiateur peut être différent des circonstances qui déclenchent l'événement (voir l'exemple 36) ; d'autre part, plusieurs séquences différentes d'événements peuvent souvent être groupées selon un initiateur unique.

Pour de nombreux événements, il faudra tenir compte de plusieurs initiateurs, dont chacun amènera à classer l'événement à un niveau différent. L'événement sera classé au plus élevé des niveaux qui auront été ainsi déterminés. Par exemple, une excursion de puissance dans un réacteur pourrait être un initiateur sollicitant la fonction de protection. Le bon fonctionnement du système de protection aboutirait à l'arrêt du réacteur. Il faudrait alors considérer l'arrêt d'urgence comme un initiateur sollicitant la fonction de refroidissement du combustible.

### 5.1.2. Disponibilité des fonctions de sûreté

Les trois fonctions de sûreté fondamentales d'un réacteur en fonctionnement sont :

- 1) Le contrôle de la réactivité ;
- 2) Le refroidissement du combustible ; et
- 3) Le confinement des matières radioactives.

Ces fonctions sont assurées par des systèmes passifs (barrières physiques par exemple) et des systèmes actifs (système de protection du réacteur par exemple). Plusieurs systèmes de sûreté peuvent contribuer à une fonction de sûreté donnée et il se peut que la fonction soit remplie même si l'un des systèmes n'est pas disponible. Suite à un initiateur, les systèmes non liés à la sûreté peuvent aussi contribuer à une fonction de sûreté particulière (voir les explications sous la définition de « Suffisante » C.). Par ailleurs, des dispositifs auxiliaires tels que les alimentations électriques, le refroidissement et les alimentations de l'instrumentation sont nécessaires pour s'assurer qu'une fonction de sûreté est remplie. Pour classer un événement, il est important d'évaluer la disponibilité de la fonction de sûreté et non pas de celle d'un système individuel. Un système ou un composant est considéré comme disponible lorsqu'il est capable d'exécuter la fonction requise de la manière requise.

Les limites et conditions d'exploitation (LCE) régissent la disponibilité de chaque système de sûreté. Dans la plupart des pays, elles sont incluses dans les spécifications techniques des centrales.

La disponibilité d'une fonction de sûreté pour un initiateur donné peut se situer entre un état où tous les composants des systèmes de sûreté prévus pour remplir cette fonction sont totalement disponibles et un état où leur disponibilité est insuffisante pour que la fonction de sûreté soit remplie. Aux fins du classement des événements, quatre catégories de disponibilité sont envisagées.

#### A. Totale

État dans lequel tous les composants et systèmes de sûreté prévus à la conception pour faire face à un initiateur donné afin de limiter ses conséquences sont totalement disponibles (autrement dit, il y a redondance/diversité).

## B. Minimum exigé par les limites et conditions d'exploitation (LCE)

Disponibilité minimale des systèmes de sûreté prévus pour assurer la fonction de sûreté requise, qui est spécifiée dans les LCE et qui permet de poursuivre l'exploitation en régime de puissance (même pendant une durée limitée).

Ce niveau de disponibilité correspond en général à la disponibilité minimale des différents systèmes de sûreté pour laquelle la fonction de sûreté peut être remplie à l'égard de tous les initiateurs de référence. Cependant, pour certains initiateurs particuliers, il peut encore y avoir redondance et diversité.

## C. Suffisante

Le niveau de disponibilité des systèmes de sûreté est suffisant pour que la fonction de sûreté soit remplie à l'égard de l'initiateur considéré.

Dans certains cas, les catégories B et C peuvent être les mêmes (c'est-à-dire que la disponibilité est insuffisante si tous les systèmes de sûreté ne répondent pas aux exigences des LCE). Dans d'autres cas, la catégorie C correspond à un niveau de disponibilité inférieur à celui qui est exigé par les LCE. Un exemple pourrait être lorsque plusieurs systèmes de sûreté différents doivent être disponibles selon les LCE, mais qu'un seul l'est. Un autre exemple est le cas où tous les systèmes de sûreté conçus pour assurer une fonction de sûreté sont indisponibles pendant un temps si court que la fonction de sûreté peut encore être assurée, même si les systèmes de sûreté ne répondent pas aux exigences des LCE (par exemple, la fonction de sûreté « refroidissement du combustible » peut être assurée si une coupure de courant totale de la centrale est de brève durée). Pour évaluer l'efficacité de ces dispositions, il est important de tenir compte du temps disponible et du temps requis pour déterminer et mettre en œuvre les mesures correctives appropriées.

Il est aussi possible que la fonction de sûreté soit *suffisante* du fait de la disponibilité de systèmes non liés à la sûreté (voir l'exemple 40). Les systèmes non liés à la sûreté peuvent être pris en compte s'il a été démontré (ou s'il est reconnu) qu'ils sont disponibles pendant l'événement. Cependant, il faut faire très attention en incluant ces systèmes, car leur disponibilité n'est généralement pas contrôlée et testée de la même façon que celle des systèmes de sûreté.

## D. *Insuffisante*

La disponibilité des systèmes de sûreté est telle qu'aucun d'entre eux n'est capable de remplir la fonction de sûreté sollicitée par l'initiateur considéré. À noter que, bien que les catégories de disponibilité C et D représentent une gamme d'états de la centrale, les catégories A et B correspondent à des degrés de disponibilité précis. De ce fait, la disponibilité réelle peut se situer entre les catégories A et B (c'est-à-dire, sans être *totale*, être néanmoins supérieure au minimum autorisant la poursuite de l'exploitation en régime de puissance). Ce point est examiné à la section 5.1.3.

### 5.1.3. Évaluation du classement de base d'événements avec initiateur réel

Pour déterminer le classement de base, il faut d'abord décider si les systèmes de sûreté ont été réellement sollicités (initiateur réel). Si c'est le cas, c'est la présente section qui s'applique ; sinon, il faut se référer à la section 5.1.4. Il peut être nécessaire d'envisager un événement selon l'une et l'autre des sections si un initiateur révèle une disponibilité réduite d'un système non sollicité par l'initiateur réel, par exemple si un arrêt d'urgence du réacteur sans perte de réseau révèle une disponibilité réduite des groupes diesels.

Pour les événements impliquant des défaillances potentielles qui auraient pu se transformer en initiateur (par exemple, la découverte de défauts de structure ou de petites fuites éliminées par une action de l'opérateur), une approche semblable est utilisée, mais il faut aussi prendre en compte la possibilité que l'initiateur potentiel puisse survenir. Ce point est expliqué à la section 5.1.5.

#### 5.1.3.1. Base du classement

Les niveaux de classement des événements qui comportent un initiateur réel figurent au tableau 9. Les valeurs indiquées sont basées sur les considérations suivantes.

À l'évidence, si la fonction de sûreté est *insuffisante*, l'accident se produit et il doit être classé en fonction des conséquences réelles. Un tel classement peut très bien dépasser le niveau 3. Cependant, sous l'angle de la défense en profondeur, le niveau 3 représente le classement le plus élevé. Cela est signalé par 3+ dans le tableau 9.

Si la fonction de sûreté est juste *suffisante*, le niveau 3 est à nouveau approprié, car une défaillance supplémentaire entraînerait un accident. Cependant, dans d'autres cas, bien que la disponibilité soit inférieure à celle qui est exigée par les LCE, elle peut être nettement supérieure à juste *suffisante*, en particulier pour les initiateurs *attendus* parce que les exigences des LCE intègrent

souvent une redondance ou une diversité importante. Par conséquent, pour les initiateurs *attendus* et une fonction de sûreté *suffisante*, le tableau 9 donne le choix entre les niveaux 2 et 3, selon la mesure dans laquelle la disponibilité de la fonction est supérieure à juste *suffisante*. Pour les initiateurs *improbables*, la disponibilité exigée par les LCE risque d'être juste *suffisante* et, en général, c'est donc le niveau 3 qui est approprié pour une disponibilité *suffisante*. Cependant, il peut y avoir des initiateurs pour lesquels une redondance existe et le tableau 9 indique donc le niveau 2 ou 3 pour toutes les catégories d'initiateurs.

Si la disponibilité des fonctions de sûreté est *totale* et qu'un initiateur *attendu* se produit, on peut à l'évidence classer l'événement en dessous de l'échelle/niveau 0, comme l'indique le tableau 9. En revanche, la survenue d'un initiateur *possible* ou *improbable*, même s'il y a une redondance importante des systèmes de sûreté, représente la défaillance de l'un des éléments importants de la défense en profondeur, à savoir la prévention des initiateurs. C'est pourquoi le tableau 9 attribue le niveau 1 aux initiateurs *possibles* et le niveau 2 aux initiateurs *improbables*.

Si la disponibilité des fonctions de sûreté correspond au *minimum exigé par les LCE*, dans certains cas, comme on l'a déjà indiqué, pour les initiateurs *possibles* et surtout pour les initiateurs *improbables*, il n'y aura pas de redondance supplémentaire. Par conséquent, le niveau 2 ou 3 sera approprié, en fonction de la redondance restante. Pour les initiateurs *attendus*, il y aura une redondance supplémentaire et le niveau proposé est donc inférieur. Le tableau 9 indique le niveau 1 ou 2 et, ici encore, on choisira le niveau selon la redondance supplémentaire de la fonction de sûreté. Lorsque la disponibilité de la fonction de sûreté est supérieure au *minimum exigé par les LCE* sans être *totale*, il peut y avoir une redondance et une diversité importantes pour les initiateurs *attendus*. Dans ces cas, le classement en dessous de l'échelle/niveau 0 serait plus approprié.

TABLEAU 9. ÉVÉNEMENTS AVEC INITIATEUR RÉEL

Disponibilité de la fonction de sûreté		Fréquence de l'initiateur		
		1) Attendu	2) Possible	3) Improbable
A	Totale	0	1	2
B	Minimum exigé par les LCE	1 ou 2	2 ou 3	2 ou 3
C	Suffisante	2 ou 3	2 ou 3	2 ou 3
D	Insuffisante	3+	3+	3+

### 5.1.3.2. Procédure de classement

Compte tenu de ce qui est dit dans la section précédente, les événements doivent être classés selon la procédure suivante :

- 1) Identifier l'initiateur qui s'est produit.
- 2) Déterminer la catégorie de fréquence correspondant à cet initiateur. Pour décider de la catégorie appropriée, la fréquence pertinente est celle qui a été prise comme hypothèse dans l'argumentaire de sûreté de la centrale (justification de la sûreté de la centrale et de son domaine d'exploitation).
- 3) Déterminer la catégorie de disponibilité des fonctions de sûreté sollicitées par l'initiateur.
  - a) Il est important de ne tenir compte que des fonctions de sûreté sollicitées par l'initiateur. Si la dégradation d'autres systèmes de sûreté est mise en évidence, il faut l'évaluer par application des indications de la section 5.1.4 concernant les *événements sans initiateur réel*, en utilisant l'initiateur qui aurait sollicité ce système de sûreté.
  - b) Pour décider si la disponibilité se situe dans les LCE, ce sont les exigences de disponibilité avant l'événement qui doivent être prises en compte et non pas celles qui s'appliquent pendant l'événement.
  - c) Si la disponibilité se situe dans les LCE mais n'est que juste *suffisante*, il faut utiliser la catégorie de disponibilité C car il n'y a plus de redondance (voir les précédents paragraphes de la présente section).
- 4) Le classement de l'événement est ensuite établi à l'aide du tableau 9. Si plusieurs classements sont possibles, le choix doit être fonction de l'étendue de la redondance et de la diversité disponibles pour l'initiateur considéré.
  - a) Si la disponibilité de la fonction de sûreté est tout juste *suffisante* (c'est-à-dire dans l'hypothèse où une défaillance supplémentaire aurait entraîné un accident), le niveau 3 est approprié.
  - b) Dans la cellule B1 du tableau 9, la valeur inférieure est appropriée si une redondance ou une diversité suffisantes restent disponibles.
  - c) Dans certains modèles de réacteurs, il y a une grande redondance ou diversité prévue pour les initiateurs *attendus*. Lorsque la disponibilité de la fonction de sûreté est très supérieure au *minimum exigé par les LCE*, mais reste cependant légèrement inférieure à *totale*, le classement en dessous de l'échelle/niveau 0 est le plus approprié.

Les initiateurs *hors dimensionnement* n'ont pas été inclus dans le tableau 9. Si un tel initiateur survient, un accident peut se produire et le classement dépendra des conséquences réelles. Sinon, les niveaux 2 ou 3 sont appropriés

sous l'angle de la défense en profondeur en fonction de la redondance des systèmes assurant une protection.

Les risques internes et externes comme les incendies, inondations, tsunamis, explosions, ouragans, tornades ou séismes peuvent être classés à l'aide du tableau 9. Le risque lui-même ne doit pas être considéré comme l'initiateur (car le risque peut provoquer soit des initiateurs soit une dégradation des systèmes de sûreté soit les deux), mais les systèmes de sûreté qui restent disponibles doivent être évalués par rapport à un initiateur qui s'est produit et/ou par rapport à des initiateurs potentiels.

#### **5.1.4. Évaluation du classement de base d'événements sans initiateur réel**

Comme indiqué dans la section précédente, pour déterminer le classement de base, il faut d'abord décider si les systèmes de sûreté ont été réellement sollicités (initiateur réel). Dans l'affirmative, c'est la section 5.1.3 qui s'applique, sinon il faut se référer à la présente section. Il peut être nécessaire d'envisager un événement selon l'une et l'autre des sections si un initiateur révèle une disponibilité réduite d'un système non sollicité par l'initiateur réel, par exemple si un arrêt d'urgence du réacteur sans perte de réseau met en évidence une disponibilité réduite des groupes diesels.

Pour les événements comportant des défaillances potentielles qui auraient pu se transformer en une indisponibilité de systèmes de sûreté (par exemple, la découverte de défauts de structure), une approche similaire est utilisée, mais il faut aussi prendre en compte la probabilité d'une indisponibilité du système de sûreté. Ce point est expliqué à la section 5.1.5.

##### *5.1.4.1. Base du classement*

Les niveaux de classement des événements sans initiateur réel figurent au tableau 10. Les valeurs indiquées sont basées sur les considérations suivantes.

Le classement d'un événement dépend du degré de dégradation des fonctions de sûreté et de la probabilité de l'initiateur pour lequel elles sont prévues. À strictement parler, il s'agit de la probabilité que l'initiateur survienne pendant la période où les fonctions de sûreté sont dégradées, mais en général la méthodologie ne prend pas en compte le temps. Cependant, si le temps d'indisponibilité est très court, on pourra classer l'événement à un niveau inférieur à celui que donne le tableau 10 (voir la section 5.1.4.2).

Si la disponibilité d'une fonction de sûreté est *insuffisante*, un accident n'a été évité que parce que l'initiateur ne s'est pas produit. Pour un tel événement, si la fonction de sûreté est requise pour des initiateurs *attendus*, le niveau 3 est approprié. Si la fonction de sûreté dont la disponibilité est *insuffisante* n'est

requisse que pour des initiateurs *possibles* ou *improbables*, il est clair qu'un niveau inférieur est approprié, car la probabilité d'un accident est bien moindre. C'est pourquoi le tableau 10 attribue le niveau 2 pour les initiateurs *possibles* et le niveau 1 pour les initiateurs *improbables*.

À l'évidence, le niveau choisi devrait être moins élevé lorsque la fonction de sûreté est *suffisante* que lorsqu'elle est *insuffisante*. Par conséquent, si la fonction est requise pour des initiateurs *attendus* et que la disponibilité est juste *suffisante*, le niveau 2 est approprié. Cependant, dans un certain nombre de cas, la disponibilité de la fonction de sûreté peut être bien plus grande que seulement *suffisante*, sans être pour autant comprise dans les LCE. En effet, le *minimum exigé par les limites et conditions d'exploitation* comporte souvent une redondance et/ou une diversité à l'égard de certains initiateurs *attendus*. Dans ce cas, le niveau 1 serait plus approprié. C'est pourquoi le tableau 10 donne le choix entre le niveau 1 et le niveau 2. Le niveau approprié doit être choisi en fonction de la redondance ou de la diversité qui subsistent.

Si la fonction de sûreté est requise pour des initiateurs *possibles* ou *improbables*, on obtient, en abaissant d'un niveau le classement établi ci-dessus pour une disponibilité *insuffisante*, le niveau 1 pour les initiateurs *possibles* et le niveau en dessous de l'échelle/niveau 0 pour les initiateurs *improbables*. Cela dit, il n'est pas approprié de classer en dessous de l'échelle/niveau 0 une disponibilité moindre que le minimum exigé par les LCE. Le tableau 10 indique donc un classement au niveau 1 tant pour les initiateurs *possibles* que pour les initiateurs *improbables*.

Si la disponibilité de la fonction de sûreté est totale ou comprise dans les LCE, l'installation est restée dans des conditions d'exploitation sûres et le niveau en dessous de l'échelle/niveau 0 est approprié pour toutes les fréquences d'initiateurs. C'est pourquoi le tableau 10 indique en dessous de l'échelle/niveau 0, pour chaque cellule des lignes A et B.

TABLEAU 10. ÉVÉNEMENTS SANS INITIATEUR RÉEL

Disponibilité de la fonction de sûreté	Fréquence de l'initiateur		
	1) Attendu	2) Possible	3) Improbable
A Totale	0	0	0
B Minimum exigé par les LCE	0	0	0
C Suffisante	1 ou 2	1	1
D Insuffisante	3	2	1

#### 5.1.4.2. Procédure de classement

Compte tenu de ce qui est dit dans la section précédente, les événements doivent être classés selon la procédure suivante :

- 1) Déterminer la catégorie de disponibilité de la fonction de sûreté.
  - a) Si la disponibilité est juste *suffisante* mais toujours dans les LCE, il faut utiliser la catégorie de disponibilité B car la centrale est restée dans un domaine d'exploitation sûre.
  - b) En pratique, les systèmes ou les composants de sûreté peuvent se trouver dans un état qui ne correspond complètement à aucune des quatre catégories décrites. La disponibilité de la fonction de sûreté peut ne pas être *totale*, mais être supérieure au *minimum exigé par les LCE*, ou encore le système peut être disponible dans son ensemble, mais dégradé par la perte d'indications. Dans ces cas, les catégories applicables devraient être utilisées pour déterminer l'éventail de classement possible, le classement effectif étant choisi après analyse.
- 2) Déterminer la catégorie de fréquence de l'initiateur pour lequel la fonction de sûreté est requise.
  - a) Si le nombre d'initiateurs identifiés comme pertinents est supérieur à un, il faut alors examiner chacun d'eux et utiliser celui donnant le classement le plus élevé.
  - b) Si la fréquence se situe à la limite entre deux catégories, on peut utiliser les deux catégories pour en déduire le classement possible, puis trancher en connaissance de cause.
  - c) Pour les systèmes spécifiquement prévus pour apporter une protection contre des risques, le risque devrait être considéré comme l'initiateur.
- 3) Le classement des événements est établi à l'aide du tableau 10.
  - a) Si la période d'indisponibilité a été très courte par rapport à l'intervalle entre les essais des composants du système de sûreté (par ex., quelques heures pour un composant dont la périodicité des essais est mensuelle), il faut envisager la possibilité de diminuer le classement de base de l'événement.
  - b) Dans la cellule C1 du tableau, où deux classements possibles sont indiqués, le choix doit être fonction du point de savoir si la disponibilité est juste *suffisante* ou si une redondance ou une diversité subsistent pour l'initiateur considéré.

Les initiateurs *hors dimensionnement* n'ont pas été inclus dans le tableau 10. Lorsque la disponibilité de la fonction de sûreté considérée est inférieure au *minimum exigé par les LCE*, le niveau 1 est approprié. Si la

disponibilité est supérieure au minimum exigé par les LCE, ou si ces dernières ne prévoient aucune limite quant à la disponibilité du système, un classement en dessous de l'échelle/niveau 0 est approprié.

### **5.1.5. Événements potentiels (y compris les défauts de structure)**

Certains événements ne résultent pas d'un initiateur ou de la dégradation de la disponibilité d'un système de sûreté, mais correspondent à une augmentation de leur probabilité. On peut citer comme exemples la découverte de défauts de structure ou bien une fuite colmatée par le personnel d'exploitation. La démarche générale de classement de ces événements est décrite ci-après. En premier lieu, il faut évaluer l'importance de l'événement potentiel en supposant qu'il s'est réellement produit et en appliquant la partie correspondante de la section 5.1.3 ou 5.1.4 sur la base de la disponibilité des dispositions de sûreté existant sur le moment. Le choix de la section dépend de la nature de l'événement potentiel, à savoir un initiateur ou la dégradation d'un système de sûreté. En second lieu, le classement doit être diminué en fonction de la probabilité que l'événement potentiel apparaisse comme conséquence de l'événement qui s'est réellement produit. Le niveau réduit de classement est affaire d'appréciation.

Un des exemples les plus courants d'événements potentiels est la découverte de défauts de structure. Le programme de surveillance vise à identifier les défauts de structure avant que leur taille ne devienne inacceptable. Si le défaut ne dépasse pas la limite acceptable, un classement en dessous de l'échelle/niveau 0 est approprié.

Si l'événement est la découverte d'un défaut plus grand que ce qui est attendu dans le programme de surveillance, le classement de l'événement devra prendre en compte deux facteurs.

Premièrement, il faut établir le classement de l'événement potentiel en supposant que le défaut a entraîné une défaillance du composant et en appliquant la section 5.1.3 ou 5.1.4. Si le défaut concerne un système de sûreté, l'application de la section 5.1.4 donne le classement de base de l'événement potentiel. Il faut éventuellement envisager la possibilité d'une défaillance de mode commun. Si le défaut est apparu dans un composant dont la défaillance aurait pu conduire à un initiateur, la section 5.1.3 permet d'obtenir le classement de base de l'événement potentiel. Bien que le défaut ait pu être découvert pendant l'arrêt du réacteur, son importance doit être analysée sur toute la durée pendant laquelle il a probablement existé.

Le classement de l'événement potentiel ainsi obtenu est ensuite ajusté en fonction de la probabilité que le défaut ait pu conduire à la défaillance du composant et en prenant en compte les facteurs supplémentaires examinés dans la section 5.2.

### 5.1.6. Événements classés en dessous de l'échelle/niveau 0

En général, il ne faudrait classer des événements en dessous de l'échelle/niveau 0 que si l'application de la procédure décrite ci-dessus ne conduit pas à les classer à un niveau supérieur. À condition qu'aucun des facteurs supplémentaires examinés à la section 5.2 ne soit applicable, les types d'événements suivants sont des exemples caractéristiques de ceux qui sont à classer en dessous de l'échelle/niveau 0 :

- Séquence d'arrêt automatique d'un réacteur se déroulant normalement ;
- Sollicitation intempestive<sup>17</sup> des systèmes de sûreté, suivie d'une reprise du fonctionnement normal, sans effet sur la sûreté de la centrale ;
- Fuite du caloporteur à un taux qui se situe à l'intérieur des LCE ;
- Défaillances uniques ou indisponibilité de composants dans un système redondant, décelées au cours d'une inspection ou d'un essai périodique programmé.

## 5.2. PRISE EN COMPTE DES FACTEURS SUPPLÉMENTAIRES

Dans certaines circonstances, différentes lignes de défense en profondeur peuvent être sollicitées simultanément. Ces circonstances doivent donc être considérées comme des facteurs supplémentaires qui peuvent justifier le classement d'un événement au niveau immédiatement supérieur à celui qui a été établi d'après les indications précédentes.

Les principaux facteurs supplémentaires en question sont les suivants :

- Défaillances de cause commune ;
- Procédures inadéquates ;
- Problèmes de culture de sûreté.

Du fait de ces facteurs supplémentaires, il se peut qu'un événement soit classé au niveau 1, bien qu'il n'ait en lui-même, si ces facteurs n'avaient pas été appliqués, aucune importance du point de vue de la sûreté.

---

<sup>17</sup> Dans ce contexte, l'expression « sollicitation intempestive » s'appliquerait à la sollicitation d'un système de sûreté consécutif à un dysfonctionnement d'un système de commande, à la dérive d'un instrument ou à une erreur humaine. Toutefois, la sollicitation d'un système de sûreté consécutif à des variations des paramètres physiques provoquées par des actions involontaires à un autre endroit de la centrale ne serait pas considérée comme une sollicitation intempestive du système de sûreté.

Lorsqu'on envisage d'élever le classement de base en raison de facteurs supplémentaires, il faut prendre en considération ce qui suit :

- 1) Même en tenant compte de tous les facteurs supplémentaires, le classement d'un événement ne peut être augmenté que d'un niveau.
- 2) Certains de ces facteurs peuvent être déjà compris dans le classement de base (défaillance de mode commun par exemple). Il est donc important de veiller à ne pas compter deux fois ce type de défaillance.
- 3) Le classement de l'événement ne peut pas être relevé au-delà du niveau 3, ce niveau maximum pour la défense en profondeur ne devant être appliqué que si un accident avait eu lieu si un autre événement s'était produit (soit un initiateur *attendu*, soit la défaillance d'un composant supplémentaire).

### **5.2.1. Défaillances de cause commune**

Une défaillance de cause commune est la défaillance de plusieurs dispositifs ou composants qui sont dans l'incapacité de remplir leurs fonctions du fait d'un événement ou d'une cause spécifique unique. En particulier, elle peut entraîner la défaillance de composants ou de dispositifs redondants destinés à remplir la même fonction de sûreté. Il se peut alors que la fiabilité de l'ensemble de la fonction de sûreté soit bien inférieure à ce que l'on attendait. La gravité d'un événement affectant un composant qui implique une défaillance de cause commune concernant un ou plusieurs autres composants semblables est donc plus grande que celle d'un événement impliquant une défaillance aléatoire du composant.

Le classement des événements pour lesquels on note une difficulté de faire fonctionner des systèmes en raison de l'absence d'informations ou d'informations erronées est aussi susceptible d'être relevé sur la base d'une défaillance de cause commune.

### **5.2.2. Procédures inadéquates**

Plusieurs lignes de défense peuvent être sollicitées simultanément en raison de procédures inadéquates. L'inadéquation des procédures peut donc parfois justifier une augmentation du niveau de classement de base.

On peut en donner les exemples suivants :

- Des instructions erronées ou inadéquates données au personnel d'exploitation pour faire face à un événement (c'est ce qui s'est passé par exemple lors de l'accident de Three Mile Island en 1979. Les procédures que le personnel d'exploitation devait utiliser en cas de mise en route de

l'injection de sûreté n'étaient pas adaptées à la situation particulière d'une perte de caloporteur en phase vapeur du pressuriseur).

- Des lacunes dans le programme de surveillance mises en évidence du fait d'anomalies non décelées pendant l'utilisation de procédures normales, ou des périodes d'indisponibilité de systèmes ou d'équipements dépassant largement la durée de l'intervalle entre les essais.

### **5.2.3. Problèmes de culture de sûreté**

La culture de sûreté a été définie comme « l'ensemble des caractéristiques et des attitudes qui, dans les organismes et chez les personnes, font que les questions de protection et de sûreté bénéficient, en tant que priorité absolue, de l'attention qu'elles méritent en raison de leur importance ». Une bonne culture de sûreté permet de prévenir les incidents, mais l'absence de culture de sûreté peut amener des employés à se comporter de manière non conforme aux hypothèses formulées lors de la conception. La culture de sûreté doit donc être considérée comme faisant partie de la défense en profondeur, et les problèmes de culture de sûreté peuvent donc justifier d'élever d'un niveau le classement d'un événement (la publication INSAG 4 [7] donne davantage d'informations sur la culture de sûreté).

Pour être classé à un niveau plus élevé en raison de problèmes de culture de sûreté, l'événement doit être considéré comme un indicateur réel d'un tel problème.

#### *5.2.3.1. Violation des LCE*

Un des indicateurs de problème de culture de sûreté les plus faciles à définir est la violation des LCE.

Les LCE décrivent la disponibilité minimale des systèmes de sûreté qui permet d'assurer que l'exploitation respecte les prescriptions de sûreté du réacteur. Elles peuvent également comporter des indications relatives à l'exploitation avec une disponibilité réduite de systèmes de sûreté pendant un temps limité. Dans la plupart des pays, elles sont incluses dans les spécifications techniques. En outre, dans l'éventualité où les LCE ne sont pas respectées, les spécifications techniques décrivent les actions à entreprendre, y compris les temps impartis pour la récupération et l'état de repli approprié.

Si l'on constate que la disponibilité des systèmes est inférieure à celle définie pour la catégorie B (par exemple après un essai périodique), mais que le réacteur passe à un état sûr en conformité avec les spécifications techniques, l'événement devrait être alors classé selon les indications des sections 5.1.3 et

5.1.4, mais le classement de base ne devrait pas être augmenté car les exigences des spécifications techniques ont été respectées.

Si la disponibilité d'une fonction de sûreté se situe à l'intérieur de la fourchette définie pour la catégorie B, mais que le personnel d'exploitation reste plus longtemps que le temps imparti (tel qu'il est défini dans les spécifications techniques) dans cet état de disponibilité, le classement de base devrait être au niveau 0, puis relevé au niveau 1 en raison de problèmes de culture de sûreté.

De même, si le personnel d'exploitation effectue des actions volontaires qui conduisent à mettre la disponibilité de la centrale en dehors des LCE, il faut envisager d'augmenter le classement de base de l'événement à cause de problèmes de culture de sûreté.

Outre les LCE formelles, certains pays introduisent dans les spécifications techniques d'autres exigences telles que des limites concernant la sûreté à long terme des composants. Pour les événements pour lesquels de telles limites sont dépassées brièvement, un classement en dessous de l'échelle/niveau 0 peut s'avérer plus approprié.

#### 5.2.3.2. *Autres questions relatives à la culture de sûreté*

D'autres exemples d'indicateurs de problèmes de culture de sûreté peuvent être les suivants :

- Transgression d'une procédure sans approbation préalable ;
- Lacune dans le processus d'assurance de la qualité ;
- Accumulation d'erreurs humaines ;
- Exposition d'une personne du public recevant une dose supérieure aux limites réglementaires annuelles lors d'un événement unique ;
- Exposition cumulée de personnes du public ou de travailleurs au-delà des limites annuelles réglementaires ;
- Mauvaise maîtrise des matières radioactives, y compris les rejets dans l'environnement, dispersion de contamination ou défaillance des systèmes de surveillance dosimétrique ;
- Répétition d'un événement, lorsqu'il est prouvé que l'exploitant n'a pas fait le nécessaire pour s'assurer que les enseignements ont bien été tirés ou que des mesures correctives ont bien été prises après le premier événement.

Il est important de noter que l'intention ici n'est pas d'entamer une évaluation longue et détaillée, mais bien de voir dans quelle mesure ceux qui classent l'événement peuvent porter un jugement immédiat. Il est souvent difficile, immédiatement après un événement, de déterminer si celui-ci doit faire l'objet d'un classement plus élevé pour des raisons de culture de sûreté. Dans ce

cas, un classement provisoire doit être proposé, sur la base de ce qui est connu sur le moment, et le classement final peut prendre en compte les informations complémentaires relatives à la culture de sûreté recueillies lors de l'enquête détaillée.

### 5.3. EXEMPLES ÉTUDIÉS

#### **Exemple 27. Arrêt d'urgence du réacteur à la suite d'une chute de grappes de commande — En dessous de l'échelle/niveau 0**

##### *Description de l'événement*

La tranche fonctionnait à la puissance nominale. Lors de l'insertion d'un groupe d'arrêt, à l'occasion d'un essai périodique des grappes de commande, le réacteur a subi un arrêt d'urgence sur signal de forte variation du niveau de puissance du flux neutronique. Cela a aussi provoqué un arrêt d'urgence automatique de la turbine et de l'alternateur.

Le mouvement des grappes de commande a été immédiatement arrêté et leur position a été vérifiée sur l'indicateur de position des grappes de commande. Il a été constaté que les quatre grappes du groupe d'arrêt qui était testé étaient tombées avant l'arrêt du réacteur.

Le signal de variation du niveau de puissance du flux neutronique avait été mis en place pour se protéger contre une défaillance des instruments, et pas contre des défauts de conception.

Une inspection du circuit contrôlant le mécanisme de commande des grappes a révélé que cette anomalie était due à une carte de circuits imprimés.

La carte défectueuse a été remplacée par une carte de réserve et, après vérification de l'intégrité du circuit de contrôle, le fonctionnement a repris normalement.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	La chute accidentelle de grappes de commande ne sollicite pas les systèmes de sûreté et n'est donc pas un initiateur. L'arrêt automatique du réacteur est un initiateur (catégorie de fréquence : <i>attendu</i> ).
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La disponibilité de la fonction de sûreté « refroidissement du combustible » était <i>totale</i> .
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il y a eu un initiateur réel. La cellule A 1) du tableau 9 de la section 5.1.3 est applicable, ce qui donne un classement de base en dessous de l'échelle/niveau 0.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Il n'y a pas de raison de relever le niveau.
Classement final :	En dessous de l'échelle/niveau 0.

### **Exemple 28. Fuite de caloporteur primaire lors d'un rechargement en régime de puissance — Niveau 1**

#### *Description de l'événement*

Lors d'un rechargement normal à pleine puissance, une fuite d'eau lourde de refroidissement de 1,4 t/h s'est produite dans le compartiment de chargement. Le personnel d'exploitation a déterminé que le pont de chargement Est était tombé de 0,4 m. Le réacteur a été arrêté et refroidi. La pression du caloporteur a été maintenue par transfert à partir d'autres tranches et pompage dans le puisard. La fuite a été au total de 22 t (environ 10 % de la quantité présente). Aucun système de sûreté n'a eu à fonctionner si ce n'est le système d'isolement de l'enceinte sur activité élevée au bout d'une heure. Il n'y a eu aucun rejet anormal d'activité dans l'environnement. Le problème est dû à une défaillance d'un système de verrouillage, qui n'avait pas été vérifié dans le cadre du programme de surveillance.

## Justification du classement

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Bien qu'une très petite fuite de caloporteur se soit produite, les fonctions de sûreté n'ont pas été sollicitées, parce que l'intervention des opérateurs a permis de maintenir la quantité d'eau. Il n'y a donc pas eu d'initiateur réel.
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	Si la fuite s'était transformée en petit accident de perte de caloporteur (APC), toutes les fonctions de sûreté requises auraient été totalement disponibles.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. La ligne A du tableau 10 de la section 5.1.4 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 0. En utilisant les indications de la section 5.1.5, si la fuite n'avait pas été contrôlée, elle aurait entraîné un petit APC, de catégorie de fréquence <i>possible</i> . Selon la cellule A 2) du tableau 9, le classement de l'événement potentiel aurait été le niveau 1. Étant donné que la probabilité que les opérateurs n'aient pas réussi à contrôler la fuite est faible, le classement doit être baissé au niveau 0.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Le verrouillage n'avait pas été vérifié lors des essais périodiques. En outre, cette défaillance était connue avant l'événement. C'est pourquoi l'événement a été relevé au niveau 1.
Classement final :	Niveau 1.

### **Exemple 29. Indisponibilité du dispositif d'aspersion de l'enceinte de confinement due au maintien de vannes en position fermée — Niveau 1**

#### *Description de l'événement*

La centrale, qui comprend deux tranches, doit être arrêtée tous les ans pour effectuer les essais requis sur le circuit commun de refroidissement de secours du cœur et les actions de sûreté automatiques correspondantes.

Ces essais sont effectués habituellement lorsque l'un des deux réacteurs est à l'arrêt à froid pour rechargement.

Le 9 octobre, les tranches 1 et 2 ont été soumises à ces essais. La tranche 1 est restée à l'arrêt à froid pour rechargement, et la tranche 2 a recommencé à fonctionner en régime de puissance le 14 octobre. Le 1<sup>er</sup> novembre, il a été découvert, au cours du contrôle mensuel des vannes de sûreté, que les quatre

vannes situées du côté refoulement des pompes du dispositif d'aspersion de l'enceinte étaient fermées. Il a été conclu que ces vannes n'avaient pas été rouvertes après les essais du 9 octobre, contrairement à ce qu'exige la procédure d'essai correspondante.

La tranche 2 avait donc fonctionné pendant 18 jours avec un dispositif d'aspersion de l'enceinte indisponible.

Il a été conclu que l'événement était dû à une erreur humaine. Il a cependant été reconnu que cette erreur s'était produite à la fin d'une période d'essais plus longue que de coutume (à cause de réparations) et qu'un système plus formel de comptes rendus sur les actions accomplies pourrait être très utile.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. L'initiateur qui aurait sollicité la fonction de sûreté dégradée était un APC majeur ( <i>improbable</i> ).
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La disponibilité de la fonction de sûreté « confinement » était dégradée. Elle était inférieure au <i>minimum exigé par les LCE</i> , mais plus que juste <i>suffisante</i> , étant donné qu'un autre système était disponible pour assurer la fonction de sûreté.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. La cellule C 3) du tableau 10 de la section 5.1.4 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 1.
5.2. Facteurs supplémentaires :	L'événement est dû à une erreur humaine, mais il n'est pas jugé opportun d'augmenter le classement à cause de problèmes de culture de sûreté (la section 5.1.4 explique que le choix du niveau 1 plutôt que 0 pour le classement de base a déjà pris en compte le fait que les LCE n'ont pas été respectées).
Classement final :	Niveau 1.

### **Exemple 30. Fuite d'eau du circuit primaire par le disque de rupture du réservoir de décharge du pressuriseur — Niveau 1**

#### *Description de l'événement*

La tranche avait été mise à l'arrêt à chaud. Le système d'évacuation de la chaleur résiduelle avait été isolé et partiellement vidangé pour des essais de systèmes après des travaux de modification et n'était donc pas disponible.

L'essai périodique de l'efficacité du système d'aspersion du pressuriseur était en cours, et le circuit primaire était à une pression de 159 bars. Vers 16 heures, l'alarme de pression — niveau haut dans le réservoir de décharge du pressuriseur — a fonctionné. Le niveau a baissé dans le réservoir de contrôle volumétrique, ce qui indiquait une fuite de caloporteur dont le débit était estimé à 1,5 m<sup>3</sup>/h. Un travailleur est entré dans le bâtiment du réacteur afin de situer la fuite. Il a estimé qu'elle venait de la tige d'une vanne du système de refroidissement du réacteur (une vanne manuelle située sur la ligne de contournement de la canne pyrométrique). Le travailleur a vérifié que la vanne était étanche en la remettant en position fermée avec la manivelle manuelle (en réalité, la vanne n'était toujours pas correctement positionnée).

La fuite a continué et le personnel de maintenance a été appelé à 18 heures, mais n'a pas pu non plus trouver l'origine de la fuite.

Pendant ce temps, la température et la pression à l'intérieur du réservoir de décharge du pressuriseur ont continué à augmenter. La température a été maintenue en dessous de 50°C en procédant à des opérations d'injection et de soutirage, (c'est-à-dire des injections d'eau d'appoint froide et des transferts vers le réservoir de récupération des purges primaires). Deux pompes installées en parallèle ont envoyé cet effluent hors du bâtiment réacteur, vers le réservoir du système de recyclage du bore.

Vers 9 heures, les balises de mesure de radioactivité ont indiqué une augmentation de la radioactivité dans le bâtiment réacteur. À 9 h 56, le point de consigne pour l'isolation partielle de l'enceinte a été atteint. Ceci a entraîné notamment la fermeture des vannes à l'intérieur de l'enceinte sur le circuit des purges et de ventilation de l'îlot nucléaire. Il n'a plus été possible alors de diriger les effluents vers le système de recyclage du bore.

La pression à l'intérieur du réservoir de décharge du pressuriseur a continué d'augmenter jusqu'à ce que les disques de rupture cèdent à 21 h 22. Pour maintenir la température dans le réservoir de décharge du pressuriseur aux environs de 50°C, il a fallu continuer à injecter de l'eau d'appoint jusqu'à 23 h 36. À 1 h 45, le niveau d'activité à l'intérieur du bâtiment réacteur est retombé en dessous du point de consigne pour l'isolation de l'enceinte.

À 2 h 32, le circuit primaire de refroidissement était à une pression de 25 bars. La tranche a été ramenée à un arrêt à chaud sous-critique, avec la chaleur évacuée par les générateurs de vapeur, mais le système d'évacuation de la chaleur résiduelle n'était toujours pas disponible.

Ce système a été remis en service à 10 h 54, et à 11 h 45 la vanne qui fuyait sur le circuit primaire de refroidissement a été déconnectée de sa télécommande de manière à pouvoir être repositionnée, ce qui a stoppé la fuite.

## Justification du classement

Critères :	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel étant donné que les systèmes de refroidissement de secours du cœur n'ont pas été sollicités. La fuite initiale a été maîtrisée grâce aux circuits d'appoint normaux (voir la section 5.1.1).
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	Si la fuite s'était transformée en petit APC, toutes les fonctions de sûreté requises étaient totalement disponibles.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. La ligne A du tableau 10 de la section 5.1.4 est applicable, ce qui donne un classement de base en dessous de l'échelle/niveau 0. D'après la section 5.1.5, si la fuite s'était aggravée sans que le personnel d'exploitation ne réagisse, elle aurait entraîné un petit APC, de fréquence <i>possible</i> . Selon la cellule A 2) du tableau 9, le classement de l'événement potentiel aurait été le niveau 1. Étant donné que la probabilité de l'événement est faible, le classement doit être ramené à 0.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Le fonctionnement intempestif de l'isolement de l'enceinte a soulevé des problèmes de conduite et fourni des informations de nature à induire en erreur. C'est pourquoi l'événement a été reclassé au niveau 1 (voir la section 5.2.1).
Classement final :	Niveau 1.

### Exemple 31. Chute d'un assemblage combustible lors du rechargement — Niveau 1

#### Description de l'événement

Après levage d'un assemblage combustible neuf de sa cellule lors d'un rechargement, un retrait spontané du bras télescopique de la machine de manutention s'est produit et un assemblage combustible neuf s'est affaissé contre le tube central du corps de la machine de manutention. Les dispositifs de verrouillage ont fonctionné comme prévu, et il n'y a pas eu d'endommagement du combustible ni de décompression.

### Justification du classement

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Bien que l'événement ait seulement mis en jeu du combustible non irradié, il aurait pu se produire avec du combustible irradié. La chute d'un seul assemblage de combustible est identifié comme un initiateur <i>possible</i> .
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	Les systèmes de sûreté prévus étaient tous totalement disponibles.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il y a eu un initiateur réel. La cellule A 2) du tableau 9 de la section 5.1.3 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 1. Les indications de la section 6.3.8 donneraient le même classement.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Il n'y a pas de raison de relever le niveau.
Classement final :	Niveau 1.

### Exemple 32. Étalonnage incorrect des détecteurs régionaux de surpuissance — Niveau 1

#### Description de l'événement

Lors d'un étalonnage de routine des détecteurs régionaux de surpuissance pour les systèmes d'arrêt 1 et 2, un facteur d'étalonnage incorrect a été appliqué. Ce facteur d'étalonnage était prévu pour 96 % de la puissance, alors que le réacteur fonctionnait à 100 % de sa puissance. Cette erreur d'étalonnage a été découverte six heures plus tard environ, et tous les détecteurs ont alors été ré-étalonnés à la valeur correcte pour le fonctionnement à pleine puissance. L'efficacité de déclenchement des deux systèmes d'arrêt à partir de ce paramètre a donc été réduite pendant six heures environ. Un paramètre alternatif de déclenchement avec redondance est resté disponible pendant tout l'événement.

#### Justification du classement

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. Le système de protection du réacteur était requis pour des initiateurs <i>attendus</i> .

-----

Critères	Explication
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La disponibilité du système de protection était réduite. Sa disponibilité était inférieure au <i>minimum exigé par les LCE</i> , mais plus que juste <i>suffisante</i> , étant donné qu'un deuxième paramètre de déclenchement avec redondance est resté disponible. Les détecteurs mal étalonnés auraient en outre assuré une protection dans la plupart des cas d'anomalie.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. La cellule C 1) du tableau 10 de la section 5.1.4 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 1 ou 2. On a retenu le niveau 1 parce que la disponibilité était très supérieure au niveau <i>suffisant</i> .
5.2. Facteurs supplémentaires :	Pour ce qui est d'une éventuelle modification du classement de base, il faut tenir compte du fait que la défaillance n'a subsisté que pendant peu de temps. D'un autre côté, la procédure comportait des lacunes. Il a été décidé de conserver le classement au niveau 1.
Classement final :	Niveau 1.

### Exemple 33. Défaillance d'une voie de sûreté lors d'essais périodiques — Niveau 1

#### *Description de l'événement*

La tranche fonctionnait à la puissance nominale. Au cours d'essais périodiques d'un groupe diesel, une panne s'est produite sur son système de commande. Le diesel a été consigné pendant six heures environ pour maintenance puis remis en service. Les spécifications techniques exigent que si l'on met un groupe diesel hors service, les deux autres voies de sûreté doivent être testées. Ces essais n'ont pas été effectués à ce moment-là. Par la suite, les autres voies de sûreté ont été testées et il s'est avéré qu'elles étaient disponibles.

#### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. Les diesels étaient requis en cas de perte de l'alimentation électrique externe ( <i>attendu</i> ).
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La disponibilité n'était pas inférieure au <i>minimum exigé par les LCE</i> , étant donné que deux voies sont restées disponibles. Le test supplémentaire effectué ultérieurement a bien démontré que les deux voies étaient restées disponibles.

Critères	Explication
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. La cellule B 1) du tableau 10 de la section 5.1.4 est applicable, ce qui donne un classement de base en dessous de l'échelle/niveau 0.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Comme les travailleurs n'ont pas respecté les spécifications techniques, et ce sans raison, l'événement a été relevé au niveau 1.
Classement final :	Niveau 1.

### **Exemple 34. La conception de la centrale en cas d'inondation pourrait ne pas atténuer les conséquences de défaillances des canalisations — Niveau 1**

#### *Description de l'événement*

Une inspection réglementaire a montré que les conséquences d'une inondation interne n'avaient pas été correctement prises en compte.

La documentation traitant d'une inondation à la suite de défaillances postulées des équipements de la centrale existait bien, mais une analyse complète d'une inondation de la centrale n'avait pas été effectuée lors de la conception initiale de la centrale, ni ultérieurement.

Pour répondre à ce défaut de conception, des modifications physiques avaient été effectuées pour réduire les risques pour les équipements de la centrale et le personnel sollicités en cas d'inondation potentielle. Cependant, la question se posait de savoir si la conception prévoyait des protections correctes contre les conséquences de défaillances de canalisations non liées à la sûreté dans le bâtiment des turbines. Une montée des eaux dans ce bâtiment entraînerait une inondation de certaines salles d'équipements de sauvegarde car elles ne sont séparées du bâtiment des turbines que par des portes non étanches à l'eau et disposent d'un système de drainage au sol commun. Les salles des équipements de sauvegarde contiennent le système d'alimentation auxiliaire des générateurs de vapeur, les diesels de secours et les deux postes ESF de 480 V et 4160 V.

À la suite de l'inspection, les bases de conception et d'autorisation relatives aux inondations ont été étudiées, et la qualification sismique de certaines canalisations et composants a été achevée. On a aussi effectué des modifications de conception pour protéger les systèmes et composants de classe 1 comme indiqué dans le rapport de sûreté mis à jour. Ces modifications ont inclus l'installation de barrières contre l'inondation au niveau des portes des salles contenant les équipements ESF, l'installation de clapets sur certaines lignes de drains de certains planchers et l'installation d'un circuit de déclenchement des pompes de circulation d'eau sur haut niveau d'eau dans le sous-sol du bâtiment des turbines.

### Justification du classement

En général, les défauts de conception identifiés pendant les évaluations périodiques de la sûreté ou les programmes d'extension de durée de vie ne sont pas considérés comme des événements individuels à classer sur l'INES. Cependant, des erreurs d'analyse découvertes pendant d'autres activités peuvent très bien être considérées comme des événements. Le présent manuel ne vise pas à définir les événements qui doivent être signalés au public, mais plutôt à donner des indications sur la façon de classer les événements qui sont communiqués au public. Cet événement est inclus pour montrer comment on peut classer de tels événements.

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. Les systèmes de sûreté étaient requis pour faire face à un initiateur de rupture majeure de la canalisation de conversion de puissance (un initiateur <i>improbable</i> ).
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La fonction de sûreté « refroidissement après arrêt d'urgence » était <i>insuffisante</i> .
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. La cellule D 3) du tableau 10 de la section 5.1.4 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 1.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Il n'y a pas de raison de relever le niveau.
Classement final :	Niveau 1.

### Exemple 35. Deux générateurs diesel de secours n'ont pas démarré après une perte de réseau— Niveau 2

#### Description de l'événement

Un défaut électrique dans le poste de 400 kV due à des erreurs pendant une procédure de test a provoqué une perte de réseau. L'excitation des alternateurs a provoqué une augmentation de la tension aux barres omnibus d'environ 120 %. Cette surtension a provoqué l'arrêt d'urgence de deux onduleurs CC/CA, sur les quatre de l'alimentation électrique sans coupure. Environ 30 s plus tard, quand l'alimentation interne sur les deux turboalternateurs a été perdue, l'arrêt d'urgence des onduleurs CC/CA a empêché deux des quatre

diesels de secours de se raccorder aux barres omnibus de 500 V. Environ 20 min après l'événement initial, les barres omnibus de 500 V des diesels ont été raccordées manuellement au système 6 kV, alimenté par le système auxiliaire hors site, et tous les systèmes électriques sont redevenus opérationnels. L'arrêt d'urgence du réacteur s'est déroulé correctement et toutes les grappes de commande ont été insérées comme prévu. Deux vannes du système de décharge de sécurité se sont ouvertes à la suite d'une initiation non sollicitée des systèmes de sauvegarde. Le système de refroidissement d'urgence du cœur dans deux des quatre voies était cependant plus que suffisant pour maintenir le niveau d'eau du réacteur au-dessus du cœur, et il n'y a pas eu d'APC en sus. Les opérateurs de salle de commande ont eu des difficultés à superviser l'installation correctement pendant l'événement, car de nombreuses indications et affichages ont été perdus à cause de la perte d'alimentation des deux voies qui alimentaient la plus grande partie de l'instrumentation en salle de commande. Des enquêtes ultérieures ont montré que la surtension des barres omnibus de l'alternateur aurait pu facilement empêcher les quatre voies d'alimentation sans coupure de fonctionner.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Un arrêt d'urgence du réacteur s'est produit, ce qui est un initiateur fréquent. Il y a eu aussi une perte partielle d'alimentation externe, nécessitant un fonctionnement initial des diesels suivi d'une connexion manuelle à l'alimentation auxiliaire.
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	Tous les systèmes de refroidissement étaient disponibles, mais l'alimentation des tableaux n'était pas disponible sur deux voies. L'indisponibilité de deux voies sur quatre était permise pendant un temps limité et restait donc dans le cadre des LCE.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il y a eu un initiateur réel. La cellule B 1) du tableau 9 de la section 5.1.3 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 1 ou 2. Comme tous les systèmes de refroidissement étaient disponibles, sous réserve de raccordement manuel, le classement le plus bas est retenu.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Il y a eu clairement un problème de défaillance de mode commun car les quatre systèmes d'alimentation sans coupure ont fait l'objet des mêmes problèmes de surtension. C'est pourquoi le classement de base est relevé d'un niveau.
Classement final :	Niveau 2.

L'événement a aussi montré que les systèmes de sûreté sont vulnérables à une perte de réseau avec une surtension associée. Il faut donc aussi prendre en compte dans le classement cette réduction identifiée de disponibilité.

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Une perte totale de réseau ne s'est pas produite, mais est un initiateur <i>attendu</i> .
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	En supposant que la perte de réseau ait provoqué un transitoire de surtension (ce qui était probable), les diesels auraient démarré, mais il n'y aurait pas eu de circuit auquel les raccorder. Le personnel d'exploitation aurait eu environ 40 minutes pour trouver un moyen de raccorder les diesels manuellement. Sur cette base, la fonction de sûreté était juste <i>suffisante</i> .
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. La cellule C 1) du tableau 10 de la section 5.1.4 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 1 ou 2. Comme tous les systèmes de refroidissement étaient effectivement disponibles, sous réserve d'être raccordés aux diesels, le classement le plus bas est retenu.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Cette analyse suppose déjà une défaillance de tous les systèmes d'alimentation sans coupure, il n'y a donc pas de raison d'augmenter le niveau.
Classement final :	Niveau 2, sur la base de la première analyse sans initiateur réel.

### Exemple 36. Perte de circulation forcée du gaz pendant 15 à 20 minutes — Niveau 2

#### *Description de l'événement*

Un défaut sur une phase des circuits électriques de l'instrumentation du réacteur 1 n'a pas été éliminé automatiquement et a persisté jusqu'à ce que les circuits soient basculés manuellement. Ce défaut a provoqué la fermeture des vannes d'arrêt d'urgence de l'alimentation haute pression et basse pression sur un échangeur, ce qui a causé un ralentissement de la soufflante à gaz correspondante entraînée par la vapeur. Le contrôle-commande automatique a été perdu en grande partie sur les échangeurs et le réacteur 1. Une insertion manuelle des grappes était possible et a été tentée, mais elle a été insuffisante pour empêcher que l'élévation des températures ne provoque un arrêt d'urgence automatique du réacteur 1 sur température élevée des éléments combustibles (élévation d'environ

16°C). Il est apparu au personnel d'exploitation que tous les systèmes de commande des grappes avaient été rendus indisponibles.

Les batteries ont secouru l'instrumentation essentielle, et le système de protection du réacteur est resté disponible, tout comme certains des systèmes de contrôle-commande normaux.

Toutes les soufflantes à gaz ont ralenti lorsque la vapeur alimentant leurs turbines s'est dégradée. La défaillance des circuits de l'instrumentation a empêché l'enclenchement automatique ou manuel des moteurs de lancement des soufflantes à gaz. L'alimentation basse pression a été maintenue constamment pour trois des quatre échangeurs et rétablie manuellement dans le cas du quatrième. Après le transitoire initial ayant conduit à l'arrêt d'urgence du réacteur, les températures des éléments combustibles ont baissé, mais elles se sont élevées après la défaillance de la circulation forcée du gaz. Ces températures se sont stabilisées à 50°C environ au-dessous de leur niveau en fonctionnement normal avant de baisser à nouveau lorsque les moteurs de lancement des soufflantes à gaz ont été démarrés par enclenchement des alimentations de secours de l'instrumentation. Le réacteur 2 n'a pas été touché et a fonctionné constamment à pleine puissance. Le réacteur 1 a recommencé à fonctionner en régime de puissance le lendemain.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Il convient de distinguer deux parties dans cet événement. Le premier initiateur a été le transitoire dû à la perte de l'alimentation d'un échangeur accompagnée d'une perte de signalisation. Cela a sollicité le système de protection, dont la disponibilité était encore totale. Cette partie de l'événement serait donc classée en dessous de l'échelle/niveau 0. Il y a lieu de souligner que, bien que le premier incident dans l'événement soit une défaillance de l'alimentation de l'instrumentation, ce n'est pas l'initiateur. La défaillance a provoqué une perte d'alimentation d'un échangeur, mais n'a pas sollicité directement les systèmes de sûreté et ne peut dès lors pas être considérée comme l'initiateur. Le transitoire qui a suivi a sollicité le système de protection et est donc l'initiateur. Le second initiateur a été l'arrêt d'urgence du réacteur et le ralentissement des soufflantes à gaz entraînées par vapeur. Cela a sollicité la fonction de sûreté « refroidissement du combustible ».

Critères	Explication
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La disponibilité de cette fonction de sûreté était inférieure au <i>minimum exigé par les LCE</i> , car aucun des moteurs de lancement n'a pu être démarré, mais plus que <i>suffisante</i> étant donné que la circulation naturelle a assuré un refroidissement efficace et que la circulation forcée a été rétablie avant que les températures aient pu atteindre des niveaux inacceptables.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il y a eu un initiateur réel. La cellule C 1) du tableau 9 de la section 5.1.3 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 2 ou 3. Comme expliqué dans cette section, le niveau choisi dépend de la mesure dans laquelle la disponibilité est plus que juste <i>suffisante</i> . Dans le cas présent, le niveau 2 convient parce que la circulation naturelle était disponible et que la circulation forcée n'a été indisponible que pendant un laps de temps limité.
5.2. Facteurs supplémentaires :	En ce qui concerne un reclassement éventuel, deux points, évoqués à la section 5.2.1, sont à envisager. L'événement a comporté une défaillance de mode commun de toutes les soufflantes. Toutefois, il a déjà été tenu compte de ce fait dans le classement initial, et un reclassement de l'événement au niveau supérieur reviendrait à le prendre deux fois en considération (voir l'introduction à la section 5.2, point 2)). L'autre facteur pertinent concerne les difficultés dues à la perte de signalisation. Cependant, ce facteur était plus pertinent pour la maîtrise du transitoire initial et n'aurait pas pu entraîner une aggravation des conditions de refroidissement après l'arrêt d'urgence. En outre, d'après le point 3) de l'introduction à la section 5.2, le niveau 3 ne conviendrait pas étant donné qu'une nouvelle défaillance unique d'un autre composant n'aurait pas conduit à un accident.
Classement final :	Niveau 2.

### Exemple 37. Petite fuite du circuit primaire — Niveau 2

#### *Description de l'événement*

Une fuite très limitée (détectée uniquement par une mesure de l'humidité) a été découverte dans la partie non isolable d'une ligne d'injection de sûreté en raison de défauts qui n'étaient pas prévus par le programme de surveillance (la zone n'avait pas été inspectée dans le cadre du programme de surveillance). Des défauts similaires, mais moins importants, étaient présents dans les autres lignes d'injection de sûreté.

## Justification du classement

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	D'après la section 5.1.5, si le défaut avait entraîné la défaillance du composant, un accident de perte caloporteur (APC) majeur (initiateur <i>improbable</i> ) aurait eu lieu.
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La disponibilité de la fonction de sûreté pour cet initiateur postulé était <i>totale</i> .
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	La méthodologie proposée pour des défauts de structure amène à utiliser la cellule A 3) du tableau 9 de la section 5.1.3. qui donne un classement de base au niveau 2. Étant donné qu'il y a eu seulement fuite (sans défaillance effective de la canalisation), le classement devrait être diminué d'un niveau.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Comme les défauts auraient pu entraîner une défaillance de mode commun de toutes les lignes d'injection de sûreté, le classement a été relevé au niveau 2.
Classement final :	Niveau 2.

### Exemple 38. Blocage partiel de la prise d'eau par temps froid — Niveau 3

#### Description de l'événement

Cet événement a touché les deux tranches de la centrale, mais pour simplifier les explications, seul l'impact sur la tranche 2 est examiné ici.

L'alimentation électrique sur site pouvait être assurée par l'autre tranche ou par quatre turbogénérateurs.

Cet incident a pour origine le froid qui régnait dans la région à ce moment-là. Des blocs de glace obturaient la prise d'eau, et les basses températures ont contribué à l'arrêt d'urgence de la partie classique, suivi d'une baisse de la tension sur le réseau de distribution.

De la glace a probablement glissé sous l'écumeur atteignant les grilles de la station de pompage de la tranche 1. Par suite de la persistance du gel, les blocs de glace se sont peut-être transformés en une masse solide obstruant partiellement les grilles communes aux deux tambours filtrants de la station de pompage de la tranche 1. Ceci aura entraîné une réduction sensible du prélèvement d'eau à la station de pompage. Aucune alarme claire n'a averti de la baisse de niveau.

À la suite de cette baisse, des pertes de vide aux condenseurs ont entraîné l'arrêt automatique des quatre groupes turboalternateurs auxiliaires du site

(entre 9 h 30 et 9 h 34) ; les quatre jeux de barres correspondants ont tous été réalimentés par le réseau en une seconde.

Les groupes turboalternateurs principaux de la tranche 1 ont été arrêtés à 9 h 28 et 9 h 34, et le réacteur a été arrêté.

La tranche 2 fonctionnait toujours, bien que, entre 9 h 33 et 10 h 35, aucun groupe turboalternateur auxiliaire n'était disponible sur le site (situation non prévue ni autorisée par les spécifications techniques) et que les seules alimentations électriques disponibles aient été le réseau et les deux groupes turboalternateurs principaux de la tranche. À partir de 10 h 55, lorsqu'un deuxième turboalternateur auxiliaire a été rebranché à son tableau, deux turbosoufflantes ont été alimentées par les turboalternateurs auxiliaires en service et les deux autres turbosoufflantes par l'une des deux lignes de 400 kV.

À 11 h 43, à la suite d'une baisse de tension sur le réseau, les deux groupes turboalternateurs principaux de la tranche 2 se sont arrêtés presque simultanément (échec de l'ilotage), en provoquant la chute des grappes et l'arrêt d'urgence du réacteur ainsi qu'une perte de réseau (déclenchement des disjoncteurs de ligne).

À ce moment-là, seuls deux des quatre turboalternateurs auxiliaires avaient été remis en service. En conséquence, deux des quatre turbosoufflantes seulement ont continué à fonctionner pour assurer le refroidissement du cœur. Les lignes raccordant la tranche 2 au réseau ont été rétablies au bout de 10 et 26 minutes, de sorte que les autres turbosoufflantes ont été remises en service.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Il s'agit d'une série complexe d'événements, mais celui qui est classé est le fonctionnement de la tranche 2 sans aucune alimentation électrique interne essentielle (à cause de la perte d'eau de refroidissement due à la formation de glace). Il n'y a pas eu d'initiateur, mais l'initiateur qui aurait pu solliciter l'alimentation électrique du site est la perte de réseau ( <i>attendu</i> ).
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La fonction de sûreté « refroidissement du combustible » était dégradée. La disponibilité de la fonction de sûreté était <i>insuffisante</i> , car il n'y avait pas d'alimentation sur le site.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il n'y a pas eu d'initiateur réel. La cellule D 1) du tableau 10 de la section 5.1.4 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 3.

Critères	Explication
5.2. Facteurs supplémentaires :	Bien que l'indisponibilité ait été brève (une heure), la probabilité d'une perte du réseau était élevée. De fait, le réseau a été perdu peu après. Il n'y a donc pas lieu de reclasser l'événement au niveau inférieur.
Classement final :	Niveau 3.

### Exemple 39. Arrêt d'urgence du réacteur provoqué par des perturbations de réseau dues à une tornade — Niveau 3

#### *Description de l'événement*

Une tornade a endommagé les lignes électriques. Le réacteur a été arrêté d'urgence par un système de protection en raison des fortes oscillations de fréquence observées dans le système.

L'alimentation auxiliaire de la tranche a été assurée par le transformateur de service. La pression du collecteur principal de vapeur a été maintenue et la chaleur résiduelle évacuée. Le refroidissement du cœur a été maintenu par circulation naturelle.

Lorsque la tension a diminué, le signal de démarrage des groupes diesels a été donné mais ceux-ci n'ont pas été connectés à des jeux de barres essentiels. Comme le signal de démarrage persistait, des redémarrages périodiques ont suivi. Les tentatives ultérieures d'alimentation des barres auxiliaires à partir des groupes diesels ont été infructueuses en raison de l'absence d'air dans les bouteilles de démarrage.

Quatre heures après l'arrêt d'urgence, une perte totale des alimentations électriques s'est produite pendant 30 minutes. Pendant le transitoire, l'état du cœur a été surveillé à l'aide de l'instrumentation prévue à la conception.

#### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	Il y a eu un initiateur réel, la perte d'alimentation externe. La fréquence de cet initiateur est <i>attendu</i> . L'initiateur a été provoqué par une tornade, mais la section 5.1.3 indique que le risque lui-même ne doit pas être considéré comme l'initiateur.

Critères	Explication
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	Aucun diesel n'était disponible, mais la disponibilité de la fonction de sûreté était juste <i>suffisante</i> étant donné que la perte de réseau a été limitée dans le temps.
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il y a eu un initiateur réel. La cellule C 1) du tableau 9 de la section 5.1.3 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 2 ou 3. Comme la fonction de sûreté était juste <i>suffisante</i> , le niveau 3 a été retenu.
5.2. Facteurs supplémentaires :	Il n'y a pas de raison de relever le niveau.
Classement final :	Niveau 3.

#### **Exemple 40. Perte totale de réseau de la centrale en raison d'un incendie dans le bâtiment des turbines — Niveau 3**

##### *Description de l'événement*

Un incendie s'est déclaré dans le bâtiment des turbines. Le réacteur à eau lourde sous pression a été arrêté manuellement et le refroidissement du réacteur a été lancé.

En raison de l'incendie, de nombreux câbles et autres équipements électriques ont été endommagés, ce qui a entraîné une perte totale de réseau. L'évacuation de la chaleur résiduelle du cœur s'est faite par circulation naturelle. De l'eau a été ajoutée au circuit secondaire des générateurs de vapeur grâce à des pompes à incendie diesels. De l'eau lourde borée a été ajoutée au modérateur de manière à maintenir le réacteur dans un état sous critique à tous les stades.

##### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
5.1.1. Fréquence de l'initiateur :	La perte d'alimentation électrique sur le site (catégorie IV, III, II ou I) est un initiateur <i>possible</i> pour les RELP, qui s'est effectivement produit (réel). Comme dans l'exemple précédent, le risque lui-même ne peut être retenu comme initiateur.
5.1.2. Disponibilité de la fonction de sûreté :	La fonction de sûreté « refroidissement » a été juste <i>suffisante</i> étant donné que le circuit secondaire était alimenté à l'aide d'une pompe incendie diesel, qui n'est pas un système de sûreté normal.

Critères	Explication
5.1.3. et 5.1.4. Classement de base :	Il y a eu un initiateur réel. La cellule C 2) du tableau 9 de la section 5.1.3 est applicable, ce qui donne un classement de base au niveau 2 ou 3.
5.2. Facteurs supplémentaires :	On a choisi le niveau 3, car il n'y avait plus de système de sûreté disponible et que de nombreuses indications ont été perdues. Un certain nombre de défaillances uniques supplémentaires auraient pu conduire à un accident.
Classement final :	Niveau 3.

## **6. ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR LA DÉFENSE EN PROFONDEUR POUR LES ÉVÉNEMENTS SURVENUS DANS DES INSTALLATIONS PARTICULIÈRES**

Le présent chapitre traite des événements qui n'ont pas eu de « conséquences réelles », mais pour lesquels certaines dispositions de sûreté ont été défaillantes. L'inclusion systématique de multiples dispositions ou barrières constitue la « défense en profondeur ».

Le présent chapitre s'applique à tous les événements survenus dans des installations du cycle du combustible, réacteurs de recherche ou accélérateurs (accélérateurs linéaires et cyclotrons, par exemple), ainsi qu'aux événements associés à des défaillances de dispositions de sûreté dans des installations fabriquant et distribuant des radionucléides ou utilisant des sources de catégorie 1. Il couvre aussi de nombreux événements survenant sur des sites de réacteurs. Alors que le chapitre 5 est consacré aux événements survenus dans des réacteurs en fonctionnement, le présent chapitre donne des indications pour un grand nombre d'autres événements se produisant sur des sites de réacteurs. Il s'agit notamment d'événements concernant des réacteurs à l'arrêt ou en cours de déclassement, que du combustible soit présent ou non sur le site, et d'événements associés aux installations d'entreposage de déchets ou de maintenance. Le présent chapitre repose sur ce que l'on appelle « l'approche lignes de défense ».

Des dispositions relatives à la défense en profondeur (dispositifs de verrouillage, systèmes de refroidissement, barrières physiques) sont prises dans toutes les installations où se trouvent des matières radioactives. Elles assurent la protection du public et des travailleurs et comprennent des moyens pour empêcher le transfert de matières vers des endroits mal protégés et les rejets de matières radioactives. Le concept de défense en profondeur n'est pas expliqué en détail ici, car on suppose qu'il est bien connu de la majorité des personnes utilisant le présent manuel. Néanmoins, l'annexe I présente quelques informations complémentaires sur ce concept.

Le présent chapitre comporte quatre parties. La première partie énonce les principes généraux à utiliser pour classer des événements sous l'angle de la défense en profondeur. Ces principes ne peuvent être que généraux étant donné la large gamme d'installations et d'événements à couvrir. En vue d'une application systématique de ces principes, la section 6.2 donne des indications plus détaillées, notamment en ce qui concerne l'augmentation du niveau de classement. La section 6.3 fournit des indications spécifiques pour certains types d'événements, et la section 6.4 présente des exemples étudiés.

## 6.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS

Bien que l'INES prévoie trois niveaux pour l'impact sur la défense en profondeur, les conséquences potentielles maximales dans certaines installations ou pour certaines pratiques, même si toutes les dispositions de sûreté sont défaillantes, sont limitées par la quantité de matières radioactives présentes et par les mécanismes de rejet. Pour ces pratiques, il ne convient pas de classer au plus haut de ces trois niveaux les événements associés aux dispositions relatives à la défense en profondeur. Si, pour une pratique donnée, les conséquences potentielles maximales ne peuvent pas être supérieures au niveau 4 de l'échelle, un classement maximum au niveau 2 est approprié sous l'angle de la défense en profondeur. De même, si les conséquences potentielles maximales ne peuvent pas être supérieures au niveau 2, un classement maximum au niveau 1 est approprié sous l'angle de la défense en profondeur. Une même installation peut regrouper plusieurs pratiques et chacune d'entre elles doit être examinée séparément dans ce contexte. Par exemple, l'entreposage de déchets et le retraitement doivent être considérés comme des pratiques distinctes même si elles se déroulent dans la même installation.

Après avoir identifié la limite supérieure du classement sous l'angle de la défense en profondeur, il est nécessaire d'examiner les dispositions de sûreté qui sont restées opérationnelles (c'est-à-dire, quelles défaillances supplémentaires des dispositions de sûreté aboutiraient aux conséquences potentielles maximales pour la pratique). Cela implique de prendre en compte les systèmes matériels et administratifs de prévention, de contrôle et d'atténuation, y compris les barrières actives et passives. On procède au classement en évaluant la probabilité que l'événement aurait pu entraîner un accident, non pas en utilisant directement les techniques probabilistes, mais en examinant quelles autres défaillances des dispositions de sûreté auraient été nécessaires pour entraîner un accident.

Un « classement de base » est ainsi établi en tenant compte des conséquences potentielles maximales et du nombre et de l'efficacité des dispositions de sûreté disponibles.

Pour tenir compte de « facteurs supplémentaires » sous-jacents, il est aussi possible d'augmenter le « classement de base ». Cette augmentation permet de tenir compte des aspects de l'événement qui peuvent indiquer une dégradation plus poussée de la centrale ou de l'organisation de l'installation. Les facteurs à prendre en considération sont les défaillances de cause commune, l'inadéquation des procédures et les lacunes dans la culture de sûreté. Ces facteurs ne sont pas inclus dans le classement de base et peuvent révéler que l'importance de l'événement par rapport à la défense en profondeur est plus grande que celle envisagée dans le classement de base. En conséquence, on peut envisager

d'augmenter le classement d'un niveau pour communiquer au public l'importance réelle de l'événement.

Il convient donc de suivre les étapes ci-dessous pour classer un événement :

- 1) La limite supérieure de classement au titre de la défense en profondeur doit être établie en tenant compte des conséquences potentielles maximales (c'est-à-dire le classement potentiel maximal pour les pratiques considérées dans cette installation en se fondant sur les critères des chapitres 2 et 3). Des indications complémentaires sur la définition des conséquences potentielles maximales sont données dans la section 6.2.1.
- 2) Le classement de base est alors déterminé en prenant en considération le nombre et de l'efficacité des dispositions de sûreté (matérielles et administratives) qui sont restées opérationnelles. Pour évaluer l'efficacité de ces dispositions, il est important de tenir compte du temps disponible et du temps requis pour déterminer et mettre en œuvre les mesures correctives appropriées. Des indications complémentaires sont données dans la section 6.2.2.
- 3) Le classement final est établi en examinant si le classement de base doit être augmenté pour tenir compte de facteurs supplémentaires, comme cela est expliqué à la section 6.2.4. Cependant, ce classement final ne doit jamais dépasser la limite supérieure établie conformément au paragraphe 1) ci-dessus.

Bien entendu, chaque événement doit être analysé en fonction des critères définis aux chapitres 2 et 3, et pas seulement sous l'angle de la défense en profondeur.

## 6.2. INDICATIONS DÉTAILLÉES POUR LE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS

### 6.2.1. Identification des conséquences potentielles maximales

Comme cela a été dit plus haut, la quantité de matières radioactives et l'évolution dans le temps des événements survenant dans les installations couvertes par l'INES varient énormément. Le processus de classement identifie trois catégories de conséquences potentielles maximales : les niveaux 5 à 7, les niveaux 3 et 4, et les niveaux 1 et 2.

Pour l'évaluation du niveau INES des conséquences potentielles maximales, les principes généraux suivants doivent être pris en compte :

- Un site peut comporter plusieurs installations, chacune pouvant accueillir toute une gamme d'activités. Par conséquent, le classement potentiel maximal doit être spécifique du type d'installation où l'événement s'est produit et du type d'opérations en cours au moment de l'événement. Toutefois, les conséquences potentielles maximales ne sont pas spécifiques à l'événement, mais à un type d'opérations dans une installation.
- Il faut tenir compte à la fois de la quantité des matières radioactives qui pourraient être mises en jeu lors de l'événement, des propriétés physiques et chimiques de ces matières, et des mécanismes par lesquels l'activité pourrait être disséminée.
- Il ne faut pas limiter l'analyse aux scénarios envisagés pour la justification de la sûreté de l'installation, mais prendre aussi en compte les accidents physiquement possibles dans l'hypothèse où toutes les dispositions de sûreté sollicitées lors de l'événement auraient été défailtantes.
- Dans le cas de l'exposition de travailleurs, les conséquences potentielles maximales doivent être fondées sur l'exposition d'un seul individu, car il est hautement improbable que plusieurs travailleurs soient tous exposés à la dose maximale crédible.

Ces principes peuvent être illustrés par les exemples suivants :

- 1) Pour les événements associés aux dispositifs de verrouillage des cellules de maintenance, il est probable que les conséquences potentielles maximales seront liées à l'exposition non prévue d'un travailleur. Si l'intensité de rayonnement est suffisamment élevée pour provoquer des effets déterministes, voire la mort, en cas d'entrée dans la cellule sans action d'atténuation particulière, les conséquences potentielles maximales sont classées au niveau 3 ou 4 (en se fondant sur les critères de doses aux personnes de la section 2.3).
- 2) Pour les événements concernant les petits réacteurs de recherche (puissance maximale d'environ 1 MW), bien qu'il existe des mécanismes physiques de dispersion d'une fraction importante des matières du cœur (événements de criticité ou perte de refroidissement du combustible), la quantité de matières radioactives est telle que les conséquences potentielles maximales ne pourront pas être classées au-dessus du niveau 4, même si toutes les dispositions de sûreté étaient défailtantes.
- 3) Pour les événements concernant les réacteurs de puissance à l'arrêt, la quantité de matières nucléaires présentes et les mécanismes physiques de dispersion d'une part significative de ces matières (événements de criticité ou perte de refroidissement du combustible) sont tels que les conséquences

potentielles maximales pourraient être classées au-dessus du niveau 4, si toutes les dispositions de sûreté étaient défectueuses.

- 4) Pour les installations de retraitement et autres installations traitant des composés de plutonium, la quantité de matières et les mécanismes physiques de dispersion d'une part significative de ces matières (événements de criticité, explosions chimiques ou incendies) sont tels que les conséquences potentielles maximales pourraient être classées au-dessus du niveau 4, si toutes les dispositions de sûreté étaient défectueuses.
- 5) Pour les installations de fabrication de combustible à l'uranium et d'enrichissement, les rejets peuvent poser des problèmes de sûreté d'ordre chimique et radiologique. Il convient de souligner que le risque chimique dû à la toxicité de la fluorine et de l'uranium prédomine par rapport au risque radiologique. Or, l'INES n'est applicable que pour l'évaluation du risque radiologique. Aucune conséquence grave dépassant un classement de niveau 4 n'est donc concevable pour un rejet d'uranium ou de ses composés.
- 6) Pour les accélérateurs, il est probable que les conséquences potentielles maximales seront liées à l'exposition non prévue d'une personne. Si l'intensité de rayonnement est suffisamment élevée pour provoquer des effets déterministes, voire la mort, en cas d'entrée dans une zone à accès restreint, les conséquences potentielles maximales sont classées au niveau 3 ou 4 (d'après les critères de doses aux personnes de la section 2.3).
- 7) Pour les irradiateurs, la plupart des événements seront liés à des expositions non prévues de personnes. Si l'intensité de rayonnement, en cas de défaillance de toutes les mesures de protection, est suffisamment élevée pour provoquer des effets déterministes ou la mort, les conséquences potentielles maximales sont classées au niveau 3 ou 4 (d'après les critères de doses aux personnes de la section 2.3). Pour les événements se produisant dans des installations ayant des sources de catégorie 1 dont les systèmes de sûreté sont prévus pour éviter la dispersion de matières radioactives (comme les systèmes de protection incendie), les rejets potentiels peuvent être suffisamment importants pour que les conséquences potentielles maximales soient classées au niveau 5.

## **6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense**

### *6.2.2.1. Identification des lignes de défense*

Il existe un grand nombre de dispositions de sûreté qui peuvent être utilisées dans les différentes installations concernées par la présente section. Certaines peuvent être des barrières physiques permanentes, d'autres peuvent reposer sur

des systèmes de verrouillage, d'autres encore peuvent être des systèmes actifs comme les systèmes de refroidissement et d'injection, d'autres enfin peuvent être basés sur des contrôles administratifs ou des actions à mener par le personnel d'exploitation pour répondre à des alarmes. La méthodologie de classement d'événements impliquant un si grand nombre de dispositions de sûreté différentes est de regrouper ces dernières en lignes de défense séparées et indépendantes. Par exemple, si deux signaux sont acheminés via un même nœud de communication, les signaux et le nœud constituent une seule et même ligne de défense. Par contre, si la fonction de refroidissement est assurée par deux pompes totalement séparées, ces deux pompes doivent être considérées comme constituant deux lignes de défense distinctes, à moins qu'elles n'aient un système d'appui non redondant en commun.

Lors du dénombrement des lignes de défense, il faut vérifier que l'efficacité de certaines lignes de défense matérielles distinctes n'est pas diminuée par un système d'appui commun, ou une action commune du personnel d'exploitation en réaction à des alarmes ou à des indications. Dans ces cas, même s'il existe plusieurs lignes de défense matérielles, il se peut qu'il n'y ait en fait qu'une seule ligne de défense.

Si l'on analyse des contrôles administratifs en tant que lignes de défense, il est important de vérifier jusqu'à quel point des procédures distinctes peuvent être considérées comme indépendantes et de vérifier que la procédure a une fiabilité suffisante pour être considérée comme une ligne de défense. On estime que le temps disponible a un impact important sur la fiabilité des procédures d'exploitation.

Les lignes de défense peuvent comprendre des procédures de surveillance, bien qu'il convienne de noter que la surveillance seule ne constitue pas une ligne de défense. Des moyens d'exécution des actions correctives sont également requis.

Il est difficile de fournir des indications plus explicites et il faudra inévitablement recourir au jugement. En général, on compte qu'une ligne de défense doit avoir un taux de défaillance approchant  $10^{-2}$  par sollicitation. Pour faciliter le dénombrement des lignes de défense indépendantes, des exemples sont donnés ci-dessous. Ils doivent être adaptés en fonction des circonstances de l'événement, ainsi que de la conception et de la justification de la sûreté de l'installation :

- Dosimètres individuels électroniques à alarme — à condition que le personnel soit formé à leur utilisation, que le dosimètre soit fiable, et que le personnel comprenne la signification des alarmes et y réponde rapidement ;

- Détecteurs de rayonnements ou de matières radioactives en suspension dans l'air dotés d'alarmes — à condition qu'ils soient fiables et que le personnel comprenne la signification des alarmes et y réponde rapidement ;
- Présence d'un technicien de radioprotection pour surveiller les niveaux de rayonnements et alerter le personnel en cas de niveaux anormaux ou de contamination ;
- Dispositifs de détection de fuites, qui dirigent les matières vers un puisard équipé d'une instrumentation de mesure de niveau et/ou d'alarmes ;
- Surveillance par le personnel d'exploitation pour vérifier la sûreté de l'installation, à condition que la fréquence de la surveillance soit suffisante pour identifier les baisses de performance et que les actions correctrices requises soient bien exécutées ;
- Systèmes de ventilation qui contrôlent le déplacement sûr des matières radioactives en suspension dans l'air à travers l'installation ;
- Portes blindées et systèmes de verrouillage des accès ;
- Ventilation naturelle, « effet cheminée » ou système passif de ventilation ou de refroidissement ;
- Actions, instructions ou procédures systématiques mises au point pour atténuer les conséquences ;
- Systèmes diversifiés, à condition qu'il n'y ait pas d'éléments communs dans les systèmes d'alimentation ou de contrôle ;
- Systèmes redondants, à condition qu'il n'y ait pas de système d'appui commun ;
- Systèmes d'inertage au gaz pour contrôler l'évolution du taux d'hydrogène dans certaines installations d'entreposage de déchets.

#### 6.2.2.2. Confinement

Dans certains cas, le confinement peut représenter une ou plusieurs lignes de défense, mais cet aspect doit être utilisé avec précaution. Comme expliqué à la section 6.2.1, le processus de classement nécessite que les conséquences potentielles maximales soient classées selon trois catégories : niveau entre 5 et 7, niveau 3 ou 4, et enfin niveau 1 ou 2. Si, à la suite de la défaillance des autres dispositions de sûreté, le fonctionnement du système de confinement fait passer les conséquences potentielles maximales dans une catégorie inférieure, on doit considérer le confinement comme une ligne de défense. Par contre, si la prise en compte du confinement ne permet pas de faire diminuer la catégorie des conséquences potentielles maximales, il ne doit pas être considéré comme une ligne de défense supplémentaire. Par exemple, pour un petit réacteur de recherche, les conséquences potentielles maximales seraient au niveau 4, sur la base d'une fusion de combustible et du rejet maximum. Le bon fonctionnement

du système de confinement ne permettra pas d'abaisser la catégorie des conséquences potentielles maximales, étant donné qu'une fusion de combustible correspond déjà au niveau 4. En conséquence, le confinement ne serait pas considéré comme une ligne de défense supplémentaire. Par contre, les exemples 52 et 55 présentent des cas pour lesquels il est approprié de considérer le confinement comme d'une ligne de défense.

### 6.2.2.3. Lignes de défense à haute intégrité

Dans certains cas, il peut exister une ligne de défense à haute intégrité (par ex. la cuve sous pression d'un réacteur ou une disposition de sûreté basée sur des phénomènes passifs et dont l'efficacité est démontrée, comme un système de refroidissement par convection naturelle). Dans de tels cas, comme il est démontré que la ligne de défense est à très haute intégrité ou présente une très haute fiabilité, il serait évidemment inapproprié de la considérer comme les autres lignes de défense.

Une ligne de défense à haute intégrité doit avoir toutes les caractéristiques suivantes :

- La ligne de défense est conçue pour pallier tous les défauts de conception pertinents et est identifiée explicitement ou implicitement dans la justification de sûreté de l'installation comme nécessitant un niveau particulièrement élevé de fiabilité ou d'intégrité ;
- L'intégrité de la ligne de défense est assurée par une surveillance ou une inspection appropriée permettant d'identifier toute dégradation de l'intégrité ;
- Si une dégradation de la ligne de défense est détectée, il existe des moyens évidents de faire face à l'événement et de mettre en œuvre des actions correctives, soit par des procédures prédéterminées, soit par la longueur des délais disponibles pour réparer ou atténuer le défaut.

On peut donner comme exemples de ligne de défense à haute intégrité la cuve d'un réacteur ou une casemate. Les contrôles administratifs ne satisfont pas normalement aux critères définissant une ligne à haute intégrité même si, comme on a pu le voir plus haut, certaines procédures d'exploitation peuvent être considérées comme des lignes de défense à haute intégrité si les délais d'exécution des mesures requises et de correction des éventuelles erreurs du personnel d'exploitation sont suffisamment longs et que l'éventail des actions qu'il est possible d'exécuter est très large.

#### 6.2.2.4. Temps disponible

Dans certains cas, le temps disponible pour exécuter des actions correctives peut être nettement supérieur au temps requis pour effectuer ces actions, et peut donc ainsi faire apparaître des lignes de défense supplémentaires. Ces lignes de défense supplémentaires peuvent être prises en compte à la condition qu'il existe des procédures pour exécuter les actions nécessaires. Quand plusieurs lignes de défenses de ce type apparaissent du fait de l'action du personnel d'exploitation en réponse à des alarmes ou des indications, la fiabilité de la procédure elle-même doit être prise en considération. On considère que le temps disponible pour mettre en œuvre la procédure a un impact important sur la fiabilité attribuée aux procédures d'exploitation. (Voir les exemples de la section 6.4.1.)

Dans certains cas, le temps disponible peut être tel qu'il permet la mise en place de toute une série de lignes de défense potentielles, alors qu'il n'a pas été jugé nécessaire, dans la justification de la sûreté, d'identifier chacune de ces lignes de défense ni d'inclure dans la procédure la façon de rendre chacune d'elles effective. Dans ces cas (en supposant qu'il y a des mesures pratiques qui peuvent être exécutées), la longueur du temps disponible fournit une ligne de défense hautement fiable.

### 6.2.3. Détermination du classement de base

#### 6.2.3.1. Le processus de classement

Après avoir identifié les conséquences potentielles maximales et le nombre de lignes de défense effectives, le classement de base est établi comme suit :

- 1) L'analyse de la sûreté de l'installation identifie un large éventail d'événements qui ont été pris en compte dans la conception. Elle indique que l'on peut raisonnablement s'attendre à ce que certains de ces événements se produisent pendant la durée de vie de l'installation (c'est-à-dire qu'ils ont une fréquence d'occurrence supérieure à  $1/N$  par an,  $N$  étant la durée de vie de l'installation). Si la sollicitation des dispositions de sûreté au cours de l'événement était due à un de ces événements « attendus », et si les systèmes de sûreté prévus pour faire face à ce type de sollicitation étaient entièrement disponibles avant l'événement et se sont comportés comme prévu, le classement de base de l'événement est en dessous de l'échelle/niveau 0.
- 2) De même, si l'on constate que les dispositions de sûreté ont subi des dégradations en l'absence de sollicitation réelle, le classement de base de

l'événement serait en dessous de l'échelle/niveau 0, si la disponibilité dégradée des dispositions de sûreté reste dans les limites autorisées.

- 3) Dans tous les autres cas, le tableau 11 permet d'obtenir le classement de base.
  - a) S'il reste une seule ligne de défense, mais que cette dernière répond à toutes les exigences d'une ligne de défense de haute intégrité (voir la section 6.2.2.3 ) ou si le temps disponible est suffisant pour fournir une ligne de défense hautement fiable (voir la section 6.2.2.4), un classement de base en dessous de l'échelle/niveau 0<sup>18</sup> serait plus approprié.
  - b) Si la durée d'indisponibilité d'une ligne de défense a été très courte par rapport à l'intervalle entre les essais périodiques des composants de la ligne de défense (par exemple, quelques heures pour un composant dont les essais périodiques sont mensuels), il faut envisager de diminuer le classement de base de l'événement.

Cette approche comporte nécessairement une part de jugement, mais la section 6.3 fournit une aide pour des types spécifiques d'événements, et la section 6.4 présente divers exemples étudiés d'utilisation de l'approche lignes de défense.

TABLEAU 11. CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS EN UTILISANT « L'APPROCHE LIGNES DE DÉFENSE »

Nombre de lignes de défense qui sont restées opérationnelles	Conséquences potentielles maximales <sup>a)</sup>		
	1)	2)	3)
	Niveaux 5, 6, 7	Niveaux 3, 4	Niveaux 1, 2
A supérieur à 3	0	0	0
B 3	1	0	0
C 2	2	1	0
D 1 ou 0	3	2	1

<sup>a)</sup> Ces classements ne peuvent pas être augmentés pour tenir compte de facteurs supplémentaires, car ils constituent déjà la limite maximale sous l'angle de la défense en profondeur.

<sup>18</sup> Si la disponibilité des lignes de défense se situe en dehors des limites autorisées, les indications de la section 6.2.4.3 peuvent aboutir à un classement de base au niveau 1.

### 6.2.3.2. *Événements potentiels (y compris les défauts de structure)*

Certains événements ne réduisent pas par eux-mêmes le nombre de lignes de défense, mais correspondent à une augmentation de la probabilité de réduction de ce nombre. On peut en donner comme exemples la découverte de défauts de structure, une fuite colmatée par le personnel d'exploitation ou la découverte de défauts dans les systèmes de contrôle des procédés. La démarche de classement de semblables événements est la suivante. En premier lieu, il faut évaluer l'importance de l'événement potentiel en supposant qu'il s'est réellement produit et en appliquant les indications de la section 6.2.3.1, sur la base du nombre de lignes de défense qui seraient restées opérationnelles. En second lieu, le classement doit être diminué en fonction de la probabilité que l'événement potentiel apparaisse comme conséquence de l'événement qui s'est réellement produit. Le niveau réduit de classement est affaire de jugement.

Un des exemples les plus courants d'événements potentiels est la découverte de défauts de structure. Le programme de surveillance vise à identifier les défauts de structure avant que leur taille ne devienne inacceptable. Si le défaut ne dépasse pas la limite acceptable, un classement en dessous de l'échelle/niveau 0 est approprié.

Si le défaut est plus grand que ce qui est attendu dans le programme de surveillance, le classement de l'événement devra prendre en compte deux facteurs.

Premièrement, il faut établir le classement de l'événement potentiel en supposant que le défaut a entraîné une défaillance du composant et en appliquant la section 6.2.3.1. Le classement de l'événement potentiel ainsi obtenu est ensuite ajusté en fonction de la probabilité que le défaut ait pu conduire à l'événement potentiel et en prenant en compte les facteurs supplémentaires examinés dans la section 6.2.4.

### 6.2.3.3. *Événements classés en dessous de l'échelle/niveau 0*

En général, il ne faudrait classer des événements en dessous de l'échelle/niveau 0 que si l'application de la procédure décrite ci-dessus ne conduit pas à les classer à un niveau supérieur. À condition qu'aucun des facteurs supplémentaires examinés à la section 6.2.4 ne soit applicable, les types d'événements suivants sont des exemples caractéristiques de ceux qui sont à classer en dessous de l'échelle/niveau 0 :

- Sollicitation intempestive<sup>19</sup> des systèmes de sûreté, suivie d'une reprise du fonctionnement normal, sans effet sur la sûreté de l'installation ;
- Pas de dégradation importante des barrières (taux de fuite inférieur aux limites autorisées) ;
- Défaillances uniques ou indisponibilité de composants dans un système redondant, décelées au cours d'une inspection ou d'un essai périodique programmé.

#### **6.2.4. Prise en compte des facteurs supplémentaires**

Dans certaines circonstances, différentes lignes de défense en profondeur peuvent être sollicitées simultanément. Ces circonstances doivent donc être considérées comme des facteurs supplémentaires qui peuvent justifier le classement d'un événement au niveau immédiatement supérieur à celui qui a été établi d'après les indications précédentes.

Les principaux facteurs supplémentaires en question sont les suivants :

- Défaillances de cause commune ;
- Procédures inadéquates ;
- Problèmes de culture de sûreté.

Du fait de ces facteurs supplémentaires, il se peut qu'un événement soit classé au niveau 1, bien qu'il n'ait en lui-même, si ces facteurs n'avaient pas été appliqués, aucune importance du point de vue de la sûreté.

Lorsqu'on envisage d'élever le classement de base en raison de facteurs supplémentaires, il faut prendre en considération ce qui suit :

- 1) Même en tenant compte de tous les facteurs supplémentaires, le classement d'un événement ne peut être augmenté que d'un niveau.
- 2) Certains de ces facteurs peuvent être déjà compris dans le classement de base (défaillance de mode commun par exemple). Il est donc important de veiller à ne pas compter deux fois ce type de défaillance.

---

<sup>19</sup> Dans ce contexte, l'expression « sollicitation intempestive » s'appliquerait à la sollicitation d'un système de sûreté consécutif à un dysfonctionnement d'un système de commande, à la dérive d'un instrument ou à une erreur humaine. Toutefois, la sollicitation d'un système de sûreté consécutif à des variations des paramètres physiques provoquées par des actions involontaires à un autre endroit de l'installation ne serait pas considéré comme une sollicitation intempestive du système de sûreté.

- 3) Le classement de l'événement ne peut pas être relevé au-delà du niveau maximum établi conformément à la section 6.2.1, ce niveau maximum ne devant être appliqué que si un accident aurait eu lieu si un autre événement s'était produit (soit un événement attendu pendant la durée de vie de l'installation, soit la défaillance d'un composant supplémentaire).

#### *6.2.4.1. Défaillances de cause commune*

Une défaillance de cause commune est la défaillance de plusieurs dispositifs ou composants qui sont dans l'incapacité de remplir leurs fonctions du fait d'un événement ou d'une cause spécifique unique. En particulier, elle peut entraîner la défaillance de composants ou de dispositifs redondants destinés à remplir la même fonction de sûreté. Il se peut alors que la fiabilité de l'ensemble de la fonction de sûreté soit bien inférieure à ce que l'on attendait. La gravité d'un événement affectant un composant qui implique une défaillance de cause commune concernant un ou plusieurs autres composants semblables est donc plus grande que celle d'un événement impliquant une défaillance aléatoire du composant.

Le classement des événements pour lesquels on note une difficulté de faire fonctionner des systèmes en raison de l'absence d'informations ou d'informations erronées est aussi susceptible d'être relevé sur la base d'une défaillance de cause commune.

#### *6.2.4.2. Procédures inadéquates*

Plusieurs lignes de défense peuvent être sollicitées simultanément en raison de procédures inadéquates. L'inadéquation des procédures peut donc parfois justifier une augmentation du niveau de classement de base.

#### *6.2.4.3. Problèmes de culture de sûreté*

La culture de sûreté a été définie comme « l'ensemble des caractéristiques et des attitudes qui, dans les organismes et chez les personnes, font que les questions de protection et sûreté bénéficient, en tant que priorité absolue, de l'attention qu'elles méritent en raison de leur importance ». Une bonne culture de sûreté permet de prévenir les incidents, mais l'absence de culture de sûreté peut amener des employés à se comporter de manière non conforme aux hypothèses formulées lors de la conception. La culture de sûreté doit donc être considérée comme faisant partie de la défense en profondeur, et les problèmes de culture de sûreté peuvent donc justifier d'élever d'un niveau le classement d'un événement

(la publication INSAG 4 [7] donne davantage d'informations sur la culture de sûreté).

Pour être classé à un niveau plus élevé en raison de problèmes de culture de sûreté, l'événement doit être considéré comme un indicateur réel d'un tel problème.

### ***Violation des limites autorisées***

Un des indicateurs de problème de culture de sûreté les plus faciles à définir est la violation des limites autorisées, qui sont aussi appelées limites et conditions d'exploitation (LCE).

Dans de nombreuses installations, les limites autorisées recouvrent la disponibilité minimale requise des systèmes de sûreté afin que le fonctionnement reste conforme aux exigences de sûreté. Elles peuvent aussi recouvrir le fonctionnement avec une disponibilité réduite de certains systèmes de sûreté pendant un temps limité. Dans certaines installations, il existe des spécifications techniques qui, en plus des limites autorisées, décrivent, dans l'éventualité où ces limites ne seraient pas respectées, les actions à entreprendre, avec les délais impartis pour la récupération et l'état de repli approprié.

Si le personnel d'exploitation prend plus de temps que le délai imparti pour gérer certaines indisponibilités (délai défini dans les spécifications techniques), ou s'il exécute des actions délibérées qui conduisent à mettre la disponibilité de l'installation en dehors d'un état autorisé, il faut envisager d'augmenter le classement de base de l'événement à cause de problèmes de culture de sûreté.

Si l'on constate que la disponibilité de systèmes est inférieure à ce qui est autorisé par les limites autorisées (par exemple, après un essai périodique), mais que le personnel d'exploitation prend immédiatement les mesures nécessaires pour ramener l'installation dans un état sûr conformément aux spécifications techniques, le classement de l'événement doit être établi en appliquant la section 6.2.3.1, mais ne doit pas être augmenté puisque les spécifications techniques ont été respectées.

Outre des limites autorisées formelles, certains pays introduisent dans les spécifications techniques d'autres exigences telles que des limites concernant la sûreté à long terme des composants. Pour les événements pour lesquels de telles limites sont dépassées brièvement, un classement en dessous de l'échelle/niveau 0 peut s'avérer plus approprié.

Pour les réacteurs à l'arrêt, les spécifications techniques comportent aussi des exigences de disponibilité minimale, mais ne précisent généralement pas les délais de récupération ou les états de repli, étant donné qu'il n'est pas toujours possible d'identifier un état plus sûr. L'exigence sera de ramener la centrale dans son état initial le plus rapidement possible. La diminution de la disponibilité de la

centrale en dessous de ce qui est requis par les spécifications techniques ne doit pas être considérée comme une violation des limites autorisées, sauf si les délais impartis sont dépassés.

### *Autres questions relatives à la culture de sûreté*

D'autres exemples d'indicateurs de problèmes de culture de sûreté peuvent être les suivants :

- Transgression d'une procédure sans approbation préalable ;
- Lacune dans le processus d'assurance de la qualité ;
- Accumulation d'erreurs humaines ;
- Exposition d'une personne du public recevant une dose supérieure aux limites réglementaires annuelles lors d'un événement unique ;
- Exposition cumulée de travailleurs ou de personnes du public au-delà des limites annuelles réglementaires ;
- Mauvaise maîtrise des matières radioactives, y compris les rejets dans l'environnement, dispersion de contamination ou défaillance des systèmes de surveillance dosimétrique ;
- Répétition d'un événement, lorsqu'il est prouvé que l'exploitant n'a pas fait le nécessaire pour s'assurer que les enseignements ont bien été tirés ou que des mesures correctives ont bien été prises après le premier événement.

Il est important de noter que l'intention ici n'est pas d'entamer une évaluation longue et détaillée, mais bien de voir dans quelle mesure ceux qui classent l'événement peuvent porter un jugement immédiat. Il est souvent difficile, immédiatement après un événement, de déterminer si celui-ci doit faire l'objet d'un classement plus élevé pour des raisons de culture de sûreté. Dans ce cas, un classement provisoire doit être proposé, sur la base de ce qui est connu sur le moment, et le classement final peut prendre en compte les informations complémentaires relatives à la culture de sûreté recueillies lors de l'enquête détaillée.

### 6.3. UTILISATION DE « L'APPROCHE LIGNES DE DÉFENSE » POUR CERTAINS TYPES D'ÉVÉNEMENTS

#### 6.3.1. Événements comportant des défaillances des systèmes de refroidissement pendant l'arrêt d'un réacteur

La plupart des systèmes de sûreté des réacteurs sont conçus pour faire face à des initiateurs survenant pendant le fonctionnement en puissance. Les événements qui surviennent pendant les phases d'arrêt à chaud ou de montée en puissance sont assez semblables aux événements qui se produisent pendant le fonctionnement en puissance, et doivent de fait être classés en appliquant le chapitre 5. Lorsque le réacteur est à l'arrêt, certains systèmes de sûreté sont toujours requis pour assurer des fonctions de sûreté, mais le temps disponible est généralement plus long. Par ailleurs, le temps ainsi disponible pour exécuter des actions manuelles peut remplacer une partie des dispositions de sûreté en termes de redondance ou de diversité (c'est-à-dire que selon l'état de la centrale, une diminution de la redondance des équipements de sûreté et/ou des barrières peut être acceptable pendant certaines périodes d'arrêt à froid). Dans de telles conditions, les configurations des barrières sont parfois très différentes (par exemple, circuit de refroidissement primaire ouvert ou confinement ouvert). C'est pourquoi on propose une approche différente pour classer les événements dans le cas des réacteurs à l'arrêt (approche lignes de défense).

Les principaux facteurs ayant un impact sur le classement sont le nombre de voies de refroidissement disponibles, le temps disponible pour exécuter des actions correctives et l'intégrité des canalisations des systèmes de refroidissement. Des exemples concernant des réacteurs à eau sous pression à l'arrêt à froid sont présentés à la section 6.4.1 (exemples 41 à 46) pour montrer comment appliquer « l'approche lignes de défense » dans ce cas. Pour d'autres types de réacteurs, il faudra utiliser ces indications à titre d'illustrations, en même temps que celles de la section 6.2, pour classer de tels événements.

#### 6.3.2. Événements comportant des défaillances des systèmes de refroidissement de la piscine à combustible usé

Après quelques années d'exploitation, la radioactivité dans la piscine à combustible usé peut être élevée. Dans ce cas, le classement des événements concernant cette piscine, sous l'angle de la défense en profondeur, peut se faire à tous les niveaux possibles entre 0 et 3.

En raison de la grande quantité d'eau présente dans la piscine et de la relativement faible chaleur résiduelle, on dispose en général de beaucoup de temps pour prendre des mesures correctives en cas d'événements entraînant une

dégradation du refroidissement de la piscine. Cela est vrai aussi en cas de fuite d'eau, car les fuites sont limitées par la conception de la piscine. Dès lors, une défaillance de quelques heures du système de refroidissement de la piscine ou une fuite d'eau n'aura généralement pas d'effet sur le combustible usé.

De ce fait, les dégradations peu importantes du système de refroidissement de la piscine ou les petites fuites sont habituellement classées en dessous de l'échelle/niveau 0.

En cas de fonctionnement en dehors des LCE, de forte augmentation de la température de l'eau ou de baisse importante du niveau de l'eau de la piscine, l'événement doit être classé au niveau 1.

Le classement au niveau 2 peut être indiqué en cas d'ébullition étendue de l'eau ou de dénoyage d'éléments combustibles. Un dénoyage important des éléments combustibles doit clairement être classé au niveau 3.

### **6.3.3. Maîtrise de la criticité**

Le comportement d'un système critique et ses conséquences radiologiques dépendent pour beaucoup des conditions et caractéristiques physiques du système en question. Dans le cas de solutions fissiles homogènes, le nombre possible de fissions, le niveau de puissance de l'excursion de criticité et les conséquences potentielles d'une excursion de criticité sont limités par ces caractéristiques. L'expérience acquise en matière d'excursions de criticité de solutions fissiles montre que le nombre total de fissions est généralement de l'ordre de  $10^{17}$  à  $10^{18}$ .

Les systèmes critiques hétérogènes tels que les réseaux de barres de combustible ou les systèmes critiques à base de matières solides sèches ont la capacité d'atteindre des pointes de puissance élevées entraînant la libération explosive d'énergie, ainsi que le rejet de grandes quantités de matières radioactives à la suite d'un endommagement important de l'installation. Dans de telles installations, les conséquences potentielles maximales peuvent dépasser le niveau 4.

Dans d'autres installations, le principal risque dû à une excursion de criticité est une exposition du personnel à de forts champs de rayonnements neutronique et gamma. Une deuxième conséquence pourrait être le rejet dans l'atmosphère de produits de fission à courte période et une contamination potentiellement grave à l'intérieur de l'installation. Pour ces deux scénarios, les conséquences potentielles maximales seraient classées au niveau 3 ou 4.

Selon la méthodologie générale :

- Les petits écarts par rapport au régime de sûreté-criticité qui restent dans limites autorisées sont classés en dessous de l'échelle/niveau 0.

- Le fonctionnement hors des limites autorisées est classé au minimum au niveau 1.
- Pour les installations dans lesquelles les conséquences potentielles maximales sont classées au niveau 3 ou 4, un événement pour lequel un accident de criticité se serait produit s'il y avait eu une défaillance supplémentaire d'une disposition de sûreté, ou si les conditions avaient été légèrement différentes, est classé au niveau 2. Si les conséquences potentielles maximales peuvent être classées au niveau 5 ou au-dessus, l'événement est classé au niveau 3.

S'il reste plus d'une ligne de défense, un classement à un niveau inférieur serait approprié et, dans ce cas, il faut utiliser le tableau 11 pour déterminer le classement approprié.

#### **6.3.4. Rejet ou dissémination non autorisé de contamination**

Tout événement impliquant le transfert de matières radioactives entraînant une contamination supérieure au niveau d'investigation pour la zone considérée, peut être classé au niveau 1 sur la base de problèmes de culture de sûreté (voir la section 6.2.4, « mauvaise maîtrise des matières radioactives »). Des niveaux de contamination dépassant la limite autorisée pour la zone sont classés au niveau 1. Des défaillances plus importantes des dispositions de sûreté doivent être classées en tenant compte de leurs conséquences potentielles maximales si toutes les dispositions de sûreté sont défaillantes et du nombre de lignes de défense restant opérationnelles.

Le non-respect des autorisations de rejet est classé au moins au niveau 1.

#### **6.3.5. Surveillance dosimétrique**

Il peut arriver occasionnellement que les procédures de contrôle radiologique et les dispositions administratives soient inadéquates et que des employés subissent une exposition non prévue (externe ou interne) aux rayonnements. Ces événements peuvent être classés au niveau 1 en application de la section 6.2.4 (mauvaise maîtrise des matières radioactives). Si l'événement a pour conséquence une dose cumulée dépassant les limites autorisées, il doit être classé au moins au niveau 1.

En général, l'application de la section 6.2.4 ne doit pas servir à augmenter le classement des événements liés à une défaillance de la surveillance dosimétrique depuis le niveau 1. Sinon, des événements pour lesquels une exposition a été évitée seraient classés au même niveau que ceux pour lesquels des doses significatives dépassant les limites réglementaires ont été effectivement

reçues. Le niveau 2 serait cependant approprié, sous l'angle de la défense en profondeur, s'il ne reste qu'une ou aucune ligne de défense, et que les conséquences potentielles maximales en cas de défaillance des dispositions de sûreté sont de niveau 3 ou 4.

### **6.3.6. Verrouillage des accès aux enceintes blindées**

L'entrée par inadvertance dans des enceintes blindées est en général rendue impossible par des dispositifs de verrouillage des portes d'entrée reliés aux systèmes de contrôle radiologique, par des procédures d'autorisation de l'accès et par des contrôles des débits de dose préalables à l'entrée.

La défaillance du verrouillage des accès à une enceinte blindée peut être la conséquence d'une perte de l'alimentation électrique, de défauts soit dans le(s) détecteur(s), soit dans l'appareillage électronique auxiliaire, ou encore d'une erreur humaine.

Étant donné que les conséquences potentielles maximales de ces événements sont limitées au niveau 4, les événements pour lesquels une nouvelle défaillance des dispositions de sûreté entraînerait un accident sont classés au niveau 2. Les événements pour lesquels certaines dispositions de sûreté ont été défaillantes, mais où d'autres lignes de défense ont subsisté, y compris les dispositions administratives régissant les accès, sont généralement classés au niveau 1.

### **6.3.7. Défaillance des systèmes de ventilation d'extraction, de filtration et d'épuration**

Dans les installations travaillant avec des quantités importantes de matières radioactives, il peut y avoir jusqu'à trois systèmes de ventilation d'extraction séparés, mais interdépendants. Ils maintiennent un gradient de pression entre les diverses enceintes, cellules/boîtes à gants et zones de service de l'installation, ainsi que des débits d'air suffisants par les orifices aménagés dans les parois entre les cellules et les zones de service pour éviter la rétrodiffusion de matières radioactives. En outre, des systèmes d'épuration, tels que des filtres d'air à haute efficacité (HEPA) ou des systèmes de lavage sont prévus pour que les rejets dans l'atmosphère soient ramenés à des valeurs inférieures à des limites prédéterminées et éviter la rétrodiffusion vers des zones de moindre radioactivité.

La première étape du classement des événements associés à la perte de ces systèmes consiste à déterminer les conséquences potentielles maximales si toutes les dispositions de sûreté sont défaillantes. Il faut tenir compte de la quantité de matières radioactives présentes et des voies de dispersion possibles à l'intérieur et à l'extérieur de l'installation. Il faut également envisager la possibilité de la

diminution de la concentration des gaz d'inertage (s'ils sont utilisés dans l'installation), ou de la constitution de mélanges explosifs. Dans la plupart des cas, à moins qu'une explosion ne soit possible, il est peu probable que les conséquences potentielles maximales dépassent le niveau 4 ; en conséquence, le classement maximal sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 2.

La deuxième étape consiste à identifier le nombre de lignes de défense restées opérationnelles, y compris les procédures qui prévoient la cessation du travail pour éviter de générer une activité supplémentaire.

Le classement de ces événements est illustré par l'exemple 52 de la section 6.4.2.

### **6.3.8. Événements concernant la manutention et la chute de charges lourdes**

#### *6.3.8.1. Événements ne concernant pas des assemblages combustibles*

Les effets d'événements concernant la manutention ou des défaillances d'équipements de levage dépendent des matières en jeu, de la zone dans laquelle l'événement s'est produit et de l'équipement qui a été ou aurait pu être affecté.

Les événements pour lesquels la chute d'une charge pourrait entraîner une dispersion de matières radioactives (soit à partir de la charge elle-même, soit à partir des canalisations ou des réservoirs touchés) doivent être classés en fonction des conséquences potentielles maximales et de la probabilité d'occurrence d'une telle dispersion. Les événements pour lesquels la chute d'une charge n'entraîne que des dommages limités, mais présente une probabilité relativement élevée d'entraîner des conséquences plus graves, sont classés, sous l'angle de la défense en profondeur, au niveau maximal possible étant donné leurs conséquences potentielles maximales. De même, les événements pour lesquels une seule ligne de défense a évité des dommages sont classés au niveau maximum, sauf si ladite ligne de défense est considérée comme étant d'une fiabilité/intégrité particulièrement élevée.

Les événements dont la probabilité est inférieure, ou pour lesquels des lignes de défense supplémentaires existent, doivent être classés en appliquant la section 6.2.

Les événements de manutention mineurs, qui sont « attendus » pendant la durée de vie de l'installation, sont classés en dessous de l'échelle/niveau 0.

#### *6.3.8.2. Événements de manutention du combustible*

Les événements qui surviennent pendant la manutention d'éléments combustibles à l'uranium non irradiés, sans incidences importantes pour la

manutention de combustibles irradiés, sont en général classés en dessous de l'échelle/niveau 0 s'il n'y a pas eu de risque d'endommagement d'éléments combustibles usés ou d'équipements liés à la sûreté.

Pour le combustible irradié, l'inventaire radioactif d'un seul élément combustible est très inférieur à celui de la piscine à combustible usé ou à celui du cœur du réacteur, et les conséquences potentielles maximales sont donc moindres.

Tant qu'il est garanti, le refroidissement de l'élément combustible usé constitue une ligne de défense importante puisqu'il évite que la matrice du combustible ne soit dégradée par surchauffe. En général, cette surchauffe est un phénomène très lent. En fonction de la configuration de l'installation, le confinement peut aussi représenter une ligne de défense dans la plupart des cas.

Les événements *attendus* pendant la durée de vie de l'installation qui sont sans influence sur le refroidissement des éléments combustibles usés et n'entraînent au plus qu'un rejet mineur sont généralement classés en dessous de l'échelle/niveau 0.

Le niveau 1 doit être envisagé pour les événements :

- Non attendus pendant la durée de vie de l'installation ;
- Comportant un fonctionnement en dehors des limites autorisées ;
- Comportant une dégradation limitée du refroidissement sans incidence sur l'intégrité des aiguilles de combustible ;
- Comportant des dommages mécaniques à l'intégrité des aiguilles de combustible sans dégradation du refroidissement.

Le niveau 2 peut être approprié pour les événements dans lesquels il y a endommagement de l'intégrité des aiguilles de combustible en raison d'un échauffement important de l'élément combustible.

### **6.3.9. Perte de l'alimentation électrique**

Dans de nombreuses installations, il est souvent nécessaire de prévoir une alimentation électrique garantie de manière à assurer la poursuite d'un fonctionnement sûr et à maintenir la disponibilité des équipements de contrôle et des instruments de surveillance. Il est prévu plusieurs circuits indépendants et divers moyens d'alimentation pour empêcher les défaillances de mode commun. La plupart des installations sont automatiquement mises à l'arrêt dans un état sûr en cas de perte des alimentations électriques, mais dans certaines installations, des dispositions de sûreté supplémentaires, comme l'utilisation de gaz d'inertage ou de générateurs électriques de secours, sont prévues.

Pour classer les événements comportant une perte d'alimentation électrique externe ou des défaillances des systèmes d'alimentation sur le site, il faut appliquer la section 6.2 en tenant compte de l'importance des moyens d'alimentation qui subsistent, de la durée pendant laquelle l'alimentation a été indisponible et des conséquences potentielles maximales. Il est particulièrement important de tenir compte du délai maximum acceptable pour le rétablissement de l'alimentation.

Pour certaines installations, il n'y aura pas d'effet négatif sur la sûreté, même si la perte d'alimentation externe est totale pendant plusieurs jours. Ce type d'événements est généralement classé en dessous de l'échelle/niveau 0 ou au niveau 1, étant donné qu'il doit exister plusieurs moyens disponibles pour restaurer l'alimentation pendant cette durée. Le niveau 1 est approprié si la disponibilité des systèmes de sûreté était en dehors des limites autorisées.

La perte partielle de l'alimentation électrique ou une perte de réseau avec une alimentation disponible à partir de systèmes de secours est « attendue » pendant la durée de vie de l'installation et, de ce fait, est classée en dessous de l'échelle/niveau 0.

### **6.3.10. Incendies et explosions**

Un incendie ou une explosion qui se produit dans l'installation ou à proximité immédiate de celle-ci et qui ne peut aucunement engendrer de dégradations des dispositions de sûreté soit n'est pas classé sur l'échelle soit est classé en dessous de l'échelle/niveau 0. Les incendies éteints au moyen des systèmes de protection installés, fonctionnant comme prévu à la conception, sont classés de même.

L'importance des incendies et des explosions dans les installations nucléaires dépend non seulement des matières en jeu, mais aussi de l'emplacement et de la facilité avec laquelle les opérations de lutte contre l'incendie peuvent être menées. Le classement dépend des conséquences potentielles maximales, ainsi que du nombre et de l'efficacité des lignes de défense qui subsistent, y compris les parois ou portes coupe-feu, les systèmes d'extinction des incendies et les systèmes de sûreté isolés. Pour évaluer l'efficacité des lignes de défense qui subsistent, il faut tenir compte de la probabilité avec laquelle elles auraient pu être dégradées.

Tout incendie ou explosion concernant des déchets de faible activité est classé au niveau 1, sur la base de l'inadéquation de procédures ou de problèmes de culture de sûreté.

### 6.3.11. Risques extérieurs

Les risques extérieurs à l'installation tels qu'incendies, explosions, inondations, tsunamis, ouragans, tornades ou séismes peuvent être classés de la même manière que d'autres événements en tenant compte de l'efficacité des dispositions de sûreté qui subsistent.

Pour les événements comportant des défaillances de systèmes spécifiquement conçus pour protéger l'installation contre un de ces risques, il faut déterminer le nombre de lignes de défense en tenant compte de la probabilité que le risque survienne alors que les systèmes sont indisponibles. Pour la plupart des installations, étant donné la faible fréquence attendue de ces risques extérieurs, il n'est probablement pas approprié de classer un tel événement au-dessus du niveau 1.

### 6.3.12. Défaillances des systèmes de refroidissement

Les défaillances de systèmes de refroidissement essentiels peuvent être classées d'une manière similaire aux défaillances des systèmes électriques en tenant compte des conséquences potentielles maximales, du nombre de lignes de défense qui subsistent, et de la longueur acceptable du délai de rétablissement du refroidissement.

Dans le cas de défaillances des systèmes de refroidissement de déchets liquides de haute activité ou d'un entreposage de plutonium, le niveau 3 est probablement approprié s'il ne restait qu'une seule ligne de défense opérationnelle pendant une durée importante.

## 6.4. EXEMPLES ÉTUDIÉS

### 6.4.1. Événements lors de l'arrêt d'un réacteur de puissance

#### **Exemple 41. Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une augmentation de la pression du caloporteur — En dessous de l'échelle/niveau 0**

##### *Description de l'événement*

Le refroidissement du réacteur à l'arrêt est assuré par la circulation de caloporteur à travers deux échangeurs d'évacuation de la chaleur résiduelle (ECR), par des voies séparées, dotées chacune de deux vannes d'isolement. Les vannes de chaque voie sont contrôlées par des transducteurs de pression distincts

et sont actionnées depuis la salle de commande. Le circuit primaire était fermé. Les générateurs de vapeur étaient aussi disponibles, garantissant que toute augmentation de température suite à une perte de l'ECR serait très lente. L'injection de sécurité n'était pas disponible, les pompes du circuit d'injection de sécurité haute pression (ISHP) sont distinctes des pompes de charge et les vannes de décharge étaient disponibles pour la régulation de la pression du circuit primaire.

Les dispositions de sûreté sont illustrées par la figure 1.

L'événement s'est produit quand une augmentation de la pression du caloporteur a entraîné la fermeture des vannes d'isolement. Les alarmes de la salle de commande ont averti les opérateurs de la fermeture des vannes. Après réduction de la pression, les vannes ont été rouvertes. Les températures n'ont pas dépassé les niveaux indiqués dans les limites et conditions d'exploitation.

*Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour un événement concernant un réacteur de puissance à l'arrêt sont classées aux niveaux 5 à 7.

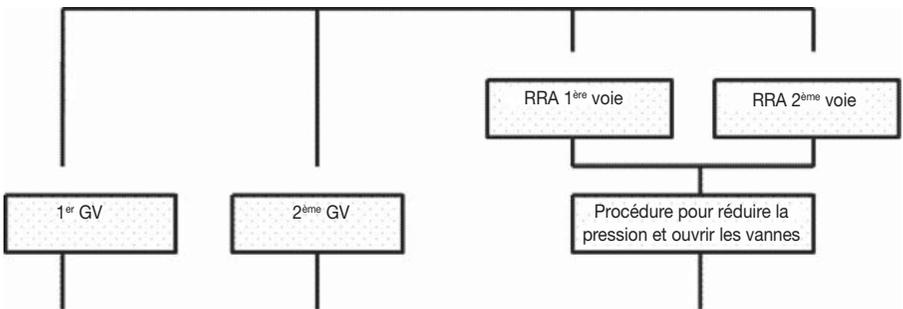


FIG. 1. Illustration des dispositions de sûreté pour l'exemple 41.

Critères	Explication
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Il y avait quatre lignes matérielles et, en supposant que les générateurs de vapeur restaient disponibles, il y avait largement assez de temps pour effectuer les interventions exigées et même suffisamment de temps pour exécuter les réparations sur le système ECR. Compte tenu du temps disponible, la procédure consistant à rouvrir les vannes peut être considérée comme plus fiable qu'une seule ligne de défense et les quatre lignes peuvent être considérées comme indépendantes.
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, l'événement est classé en dessous de l'échelle/niveau 0.
Classement global :	En dessous de l'échelle/niveau 0.

**Exemple 42. Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une activation intempestive des détecteurs de pression — En dessous de l'échelle/niveau 0**

*Description de l'événement*

Le refroidissement du réacteur à l'arrêt était assuré par la circulation du caloporteur à travers un seul échangeur d'évacuation de la chaleur résiduelle (ECR), par une seule voie d'aspiration dotée de deux vannes d'isolement. Les vannes peuvent être actionnées à partir de la salle de commande. Le circuit primaire était ouvert et le puits inondé. Le réacteur était à l'arrêt depuis une semaine et toute augmentation de la température du caloporteur serait donc très lente. Les générateurs de vapeur étaient ouverts pour travaux et donc indisponibles. L'injection de sécurité n'était pas disponible, les pompes du circuit d'injection de sécurité haute pression (ISHP) sont distinctes des pompes de charge et les vannes de décharge étaient disponibles pour la régulation de la pression du circuit primaire.

L'événement s'est produit lorsque l'activation intempestive des détecteurs de pression a entraîné la fermeture des vannes d'isolement. Les alarmes de la salle de commande ont averti le personnel d'exploitation de la fermeture des vannes. Après vérification que l'augmentation de pression était un signal intempestif, les vannes ont été rouvertes. Les températures n'ont pas dépassé les niveaux indiqués dans les limites et conditions d'exploitation. Il aurait fallu 10 heures pour atteindre les limites d'exploitation.

## Justification du classement

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour un événement concernant un réacteur de puissance à l'arrêt sont classées aux niveaux 5 à 7.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	<p>S'agissant de la fonction de sûreté « refroidissement du combustible », il existe deux lignes de défense. La première est le circuit ECR, la deuxième est la longueur du temps disponible pour ajouter de l'eau de manière à maintenir le niveau d'eau au fur et à mesure des pertes d'eau et de chaleur par évaporation.</p> <p>La deuxième ligne peut être considérée comme hautement fiable (section 6.2.2.4) pour les raisons suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— On dispose de beaucoup de temps pour agir (au moins 10 heures avant d'atteindre les limites d'exploitation).</li><li>— Il existe un certain nombre de moyens d'ajouter de l'eau (injection de sécurité basse pression, tuyaux d'incendie), encore que la concentration en bore doit être contrôlée.</li><li>— Cette ligne de défense est reconnue dans la justification de la sûreté comme une caractéristique de sûreté clé.</li></ul> <p>De plus, le temps disponible est suffisant pour réparer le système ECR si nécessaire.</p>
6.2.3. Détermination du classement de base :	Les indications de la section 6.2.3.1 donnent un classement en dessous de l'échelle/niveau 0.
Classement global :	En dessous de l'échelle/niveau 0.

### Exemple 43. Perte complète du refroidissement à l'arrêt — Niveau 1

#### Description de l'événement

Le refroidissement à l'arrêt de la cuve du réacteur a été complètement perdu pendant plusieurs heures lorsque les vannes d'isolement du circuit d'aspiration du système ECR, qui fonctionnait, se sont fermées automatiquement. Ces vannes se sont fermées en raison de la perte d'alimentation électrique de la division 2 du système de protection à cause d'un défaut de maintenance. L'alimentation de secours avait déjà été isolée pour maintenance. La tranche avait été arrêtée pendant longtemps (environ 16 mois) et la chaleur résiduelle était très faible. Pendant que le refroidissement à l'arrêt était indisponible, l'eau présente dans la cuve du réacteur a commencé à s'échauffer d'environ 0,3°C par heure. Le système ECR a été redémarré environ six heures après l'événement initial.

## *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour un événement concernant un réacteur de puissance à l'arrêt sont classées aux niveaux 5 à 7.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Pour cet événement particulier, on disposait de beaucoup de temps avant que des conséquences significatives (dégradation du cœur ou forte radioexposition) ne se produisent. Ce temps permet d'appliquer un éventail étendu de mesures pour corriger la situation et peut donc être considéré comme une ligne de défense hautement fiable, selon la section 6.2.2.4.
6.2.3. Détermination du classement de base :	Le classement de base est en dessous de l'échelle/niveau 0.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Le défaut de maintenance a amené le réacteur hors des LCE. Le classement a donc été relevé au niveau 1.
Classement global :	Niveau 1.

Si la chaleur résiduelle n'avait pas été très faible, le temps disponible aurait été beaucoup plus court et il n'aurait pu être considéré comme une ligne de défense à haute intégrité. En pareil cas, les lignes de défense effectives sont les suivantes :

- Procédures et actions du personnel d'exploitation pour rétablir l'alimentation électrique de la division 2 du système de protection ;
- Procédures et actions du personnel d'exploitation pour rétablir l'ECR grâce à des systèmes de secours.

Étant donné qu'il restait deux lignes de défense, l'événement aurait donc alors été classé au niveau 2. Il n'aurait pas été augmenté jusqu'au niveau 3, car une défaillance supplémentaire n'aurait pas entraîné d'accident (voir la section 6.2.4).

**Exemple 44. Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une augmentation de la pression du caloporteur — Niveau 2**

*Description de l'événement*

La conception est la même que pour l'exemple 41, mais les générateurs de vapeur étaient ouverts pour travaux et donc indisponibles. Les dispositions de sûreté sont illustrées par la figure 2. L'événement s'est produit quelque temps après que le réacteur a été arrêté quand une augmentation de la pression du caloporteur a entraîné la fermeture des vannes d'isolement de l'ECR. Les alarmes de la salle de commande ont averti les opérateurs de la fermeture des vannes. Après réduction de la pression, les vannes ont été rouvertes. Les températures n'ont pas dépassé les LCE. La chaleur résiduelle était suffisamment faible et il aurait fallu cinq heures pour atteindre les limites d'exploitation.

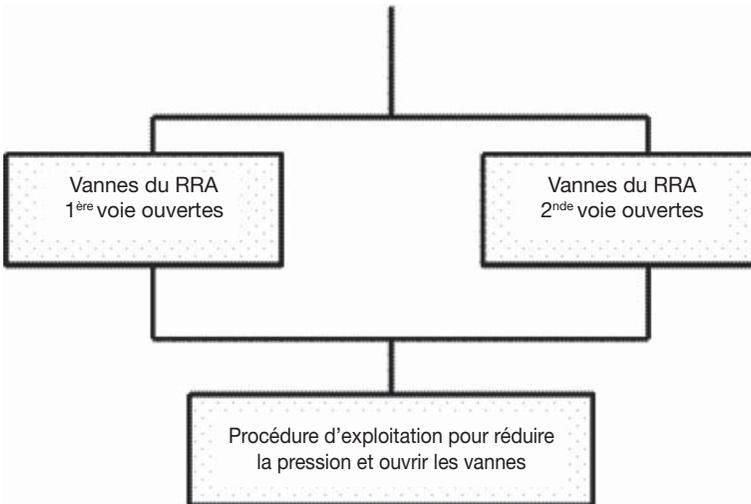


FIG. 2. Illustration des dispositions de sûreté pour les exemples 44 et 46.

## *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour un événement concernant un réacteur de puissance à l'arrêt sont classées aux niveaux 5 à 7.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Les dispositions de sûreté sont illustrées par la figure 2. Il y a deux lignes de défense matérielles et une ligne logicielle en série et l'on dispose d'au moins cinq heures pour exécuter les interventions requises. Compte tenu du temps disponible, la procédure opérationnelle et les actions entreprises par le personnel d'exploitation peuvent être considérées comme plus fiables qu'une ligne de défense unique. L'aspect limitatif des dispositions de sûreté est à présent constitué par les deux lignes matérielles.
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, l'existence de deux lignes de défense matérielles signifie que l'événement devrait être classé au niveau 2.
Classement global :	Niveau 2.

### **Exemple 45. Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une activation intempestive des détecteurs de pression — Niveau 3**

#### *Description de l'événement*

La conception est la même que pour l'exemple 42, mais l'événement s'est produit peu après l'arrêt. Le refroidissement du réacteur à l'arrêt était assuré par la circulation du caloporteur à travers un seul échangeur ECR, par une seule voie d'aspiration dotée de deux vannes d'isolement. Le circuit primaire était fermé. En cas de fermeture des vannes d'isolement, la température du caloporteur augmente, mais il faut environ une heure pour atteindre un niveau inacceptable. Les vannes peuvent être actionnées à partir de la salle de commande. Les générateurs de vapeur étaient ouverts pour travaux et donc indisponibles. L'injection de sécurité n'est pas disponible, les pompes ISHP sont distinctes des pompes de charge et les vannes de décharge sont disponibles pour la régulation de la pression du circuit primaire.

L'événement s'est produit quand l'activation intempestive des détecteurs de pression a entraîné la fermeture des vannes d'isolement. Les alarmes de la salle de commande ont averti le personnel d'exploitation de la fermeture des vannes.

Après vérification que l'augmentation de pression était un signal intempestif, les vannes ont été rouvertes. Les températures n'ont pas dépassé les LCE.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour un événement concernant un réacteur de puissance à l'arrêt sont classées aux niveaux 5 à 7.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	<p>La seule ligne de défense est le refroidissement du circuit primaire par la seule voie d'aspiration de l'ECR.</p> <p>Ici aussi il est nécessaire d'analyser les aspects matériels et procéduriers de la ligne de défense. S'agissant d'abord des actions nécessaires pour rétablir le refroidissement, le personnel d'exploitation doit s'assurer que le signal de pression était intempestif et, si l'augmentation de la température du caloporteur a entraîné une augmentation de pression, réduire la pression. Une procédure de rétablissement de l'ECR après la fermeture des vannes existe bien. L'opération peut être réalisée dans le délai disponible, mais sans marge importante. Du point de vue des matériels, la non-réouverture de l'une ou l'autre des vannes entraînerait l'indisponibilité de la ligne de défense. Par ailleurs, il est certain que l'on ne dispose pas du temps suffisant pour exécuter des réparations au cas où les vannes ne s'ouvriraient pas.</p> <p>C'est pourquoi on considère que la ligne unique n'est pas une ligne de défense hautement fiable, même si c'est la seule prévue par la conception. La nécessité de rouvrir les deux vannes d'isolement pour rétablir l'alimentation limite manifestement la fiabilité de la ligne de défense.</p>
6.2.3. Détermination du classement de base :	Il ne reste qu'une seule ligne de défense disponible et donc, d'après le tableau 11, le classement est au niveau 3.
Classement global :	Niveau 3.

### **Exemple 46. Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une augmentation de la pression du caloporteur — Niveau 3**

#### *Description de l'événement*

La conception de la centrale est la même que dans l'exemple 44, mais l'événement s'est produit peu après l'arrêt quand une augmentation de la pression du caloporteur a entraîné la fermeture des vannes d'isolement. Les dispositions de sûreté sont illustrées par la figure 2.

#### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour un événement concernant un réacteur de puissance à l'arrêt sont classées aux niveaux 5 à 7.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	En ce qui concerne le matériel, il y a deux lignes de défense. Toutefois, pour l'une et l'autre il faut encore que le personnel d'exploitation rouvre les vannes. La fiabilité des dispositions de sûreté est limitée par le besoin d'intervention du personnel d'exploitation. Comme l'opération est complexe et que le temps disponible est limité, on considère qu'il n'y a qu'une seule ligne de défense efficace, c'est-à-dire une procédure d'exploitation exigeant une réduction de la pression et la réouverture de la vanne d'isolement.
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, le niveau 3 est approprié.
Classement global :	Niveau 3.

### **6.4.2. Événements dans des installations autres que des réacteurs de puissance**

#### **Exemple 47. Augmentation de pression du volume libre au-dessus du niveau du liquide dans une cuve de dissolution d'éléments combustibles — En dessous de l'échelle/niveau 0**

#### *Description de l'événement*

La détection d'une faible augmentation de pression du volume libre au-dessus du liquide dans une cuve de dissolution d'une installation de retraitement

a entraîné la mise à l'arrêt automatique du processus. Le système de chauffage de la cuve a été arrêté et le système de refroidissement par eau a fonctionné. L'apport d'acide nitrique dans la cuve a été stoppé et la réaction de dissolution arrêtée par l'adjonction d'eau. Aucun rejet dans l'installation ou dans l'environnement ne s'est produit.

Des investigations ultérieures ont montré que l'augmentation de pression avait été provoquée par un rejet anormal de vapeur et une production accrue de vapeurs nitreuses, à la suite d'un bref accroissement de la vitesse de dissolution du combustible.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour un événement concernant une installation de retraitement sont classées aux niveaux 5 à 7.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	En raison de l'écart par rapport au déroulement normal du processus, celui-ci a été automatiquement arrêté. Toutes les étapes de la mise à l'arrêt se sont déroulées normalement. Aucune ligne de défense n'a été perdue.
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après les indications du point 1) de la section 6.2.3.1, le classement est en dessous de l'échelle/niveau 0.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Il n'y a pas de raison de relever le niveau de l'événement.
Classement global :	En dessous de l'échelle/niveau 0.

### **Exemple 48. Perte de refroidissement dans un petit réacteur de recherche — En dessous de l'échelle/niveau 0**

#### *Description de l'événement*

L'événement s'est produit dans un réacteur de recherche de 100 kW, doté d'une grande piscine de refroidissement et d'un échangeur de chaleur/purificateur, comme le montre la figure 3. En cas de perte du refroidissement, tout échauffement de l'eau est extrêmement lent.

L'événement s'est produit quand la canalisation en aval de la pompe a été défaillante, le caloporteur étant évacué vers le bas du tuyau d'aspiration. La pompe est ensuite tombée en panne en raison d'un phénomène de cavitation.

## Justification du classement

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Deux fonctions de sûreté sont à prendre en compte : le refroidissement du combustible et la protection destinée à empêcher des doses élevées aux travailleurs. Pour les deux, vu la faible quantité de matières présentes, les conséquences potentielles maximales ne peuvent pas dépasser le niveau 4, et le maximum sous l'angle de la défense en profondeur est donc le niveau 2.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	<p>S'agissant de la fonction refroidissement, il existe par conception trois lignes de défense. La première est l'échangeur de chaleur, la deuxième est le volume important d'eau dans la piscine et la troisième est la possibilité de refroidir le combustible dans l'air. L'aspiration a été volontairement conçue de façon qu'un volume d'eau important reste dans la piscine en cas de défaillance de la canalisation. En outre, il est évident que la principale ligne de défense est le volume de l'eau. Celui-ci peut être considéré comme une ligne de défense à haute intégrité pour les raisons suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— L'apport de chaleur est faible par rapport au volume d'eau, de sorte que tout échauffement sera extrêmement lent. Il faudrait plusieurs jours avant que le niveau d'eau diminue de manière significative.</li><li>— Toute diminution du niveau d'eau serait facilement détectée par le personnel d'exploitation, et le niveau d'eau pourrait être simplement rétabli de plusieurs manières.</li><li>— La justification de la sûreté de l'installation identifie le niveau d'eau comme la ligne de défense clé, et démontre son intégrité. La canalisation d'aspiration vers l'échangeur de chaleur a été soigneusement conçue de façon qu'un niveau d'eau adéquat subsiste.</li></ul>
6.2.3. Détermination du classement de base :	Le classement de base est considéré comme étant au niveau 0 étant donné que deux lignes de défense subsistent, et que l'une d'elles est à haute intégrité. S'agissant de la fonction de protection radiologique, une seule ligne de défense subsiste, mais cette ligne est à haute intégrité, car le niveau d'eau qui resterait dans le bas de la canalisation d'aspiration assurerait une protection adéquate.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Il n'y a pas de raison de relever le niveau de l'événement.
Classement global :	En dessous de l'échelle/niveau 0.

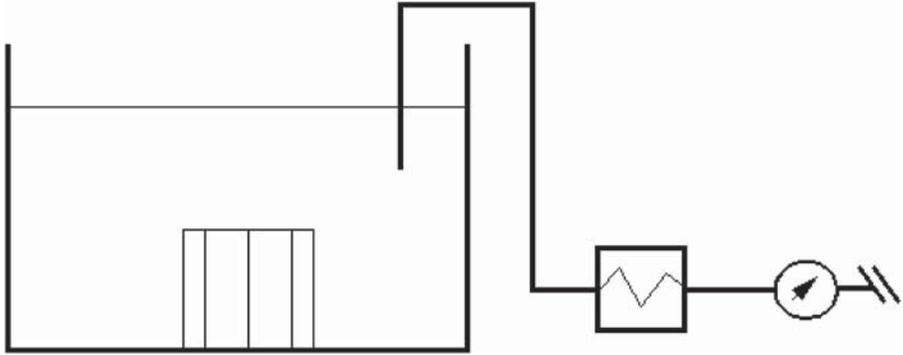


FIG. 3. Diagramme du système de refroidissement pour l'exemple 48.

### Exemple 49. Niveau d'irradiation élevé dans une installation de retraitement — En dessous de l'échelle/niveau 0

#### *Description de l'événement*

Des agents d'exploitation et un technicien du service radioprotection effectuaient un prélèvement dans une installation entreposant des liquides hautement radioactifs. Des instructions spécifiques et du matériel adapté étaient prévus pour la tâche et les personnes concernées avaient également été correctement entraînées et informées. Aux fins de cette opération, le reste du personnel avait été évacué d'une zone de grande taille clairement identifiée et barrée autour de la zone de travail.

Pendant le prélèvement, la défaillance d'un équipement a provoqué la fuite d'une petite quantité de liquide fortement radioactif vers un tuyau dépourvu de protection radiologique, entraînant de forts niveaux d'irradiation dans les zones environnantes.

Tout le personnel était équipé de dosimètres individuels à alarme. Lorsque ces derniers se sont déclenchés, en même temps que plusieurs systèmes de détection installés dans la zone, toutes les personnes présentes ont immédiatement évacué la zone.

Des évaluations ultérieures ont montré que la personne la plus exposée avait été soumise à un débit de dose de 50 mSv/h, et avait reçu une dose efficace de 350  $\mu$ Sv.

## Justification du classement

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'opération d'échantillonnage avait lieu dans une zone dont les accès étaient contrôlés, et où des dispositions de sûreté spéciales étaient en place en raison du fort risque d'irradiation. Par conséquent, les critères de niveau de dose correspondant au niveau 2 valables pour les « zones de service » ne s'appliquent pas (la section 3.2 définit une zone de service comme une « zone où les travailleurs ont accès sans permis spécial. Sont exclues les zones où des contrôles spécifiques sont nécessaires (au-delà de l'utilisation générale d'un dosimètre personnel ou de combinaisons) à cause du niveau de contamination ou de rayonnement. »).
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour cette activité étaient une exposition supérieure à dix fois la limite annuelle réglementaire (c'est-à-dire niveau 3).
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	<p>Pour déterminer le nombre de lignes de défenses indépendantes, il faut prendre en compte d'un côté le fonctionnement des détecteurs et alarmes et, de l'autre, la réaction du personnel d'exploitation. Il existait quatre lignes de défense indépendantes relatives aux détecteurs et alarmes, à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Les dosimètres individuels électroniques, dont il a été confirmé qu'ils étaient pleinement en état de marche et qu'ils ont fonctionné correctement ;</li><li>— Les détecteurs gamma et les alarmes associées, qui étaient pleinement opérationnels et ont bien fonctionné pendant l'événement ;</li><li>— Les détecteurs de contamination de l'air ambiant et les alarmes associées. Ces détecteurs sont sensibles à un rayonnement gamma de forte intensité, et le déclenchement de leurs alarmes entraîne une évacuation rapide du personnel présent ;</li><li>— La présence d'un technicien du service radioprotection muni d'un détecteur. La mission première de cette personne était de surveiller les niveaux de rayonnements pendant l'opération d'échantillonnage et de réagir en conséquence. Cela n'a pas été nécessaire puisque le personnel présent évacuait déjà la zone.</li></ul> <p>Chacune de ces lignes de défense exigeait du personnel qu'il réagisse de façon appropriée aux alarmes ou aux conseils oraux. Il a été confirmé que le personnel d'exploitation s'entraînait régulièrement et qu'il avait toujours bien réagi. L'équipe d'intervention était composée de plusieurs personnes et était en plus accompagnée d'un technicien du service radioprotection. Au vu de la nature particulière des activités, ainsi que de l'entraînement et des instructions données, on estime qu'on peut retenir au moins trois lignes de défense indépendantes. La probabilité que tous les individus ignorent toutes les alarmes est extrêmement faible.</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/>

Critères	Explication
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, compte tenu des trois lignes de défense, le classement de base est le niveau 0.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Il n'y a pas de raison de relever le niveau de l'événement.
Classement global :	En dessous de l'échelle/niveau 0.

### **Exemple 50. Un travailleur a reçu une dose cumulée au corps entier supérieure à la limite de dose — Niveau 1**

#### *Description de l'événement*

Un responsable d'installation avait reçu à la fin du mois de décembre, du fait d'opérations, une dose au corps entier supérieure à la dose autorisée ou attendue, mais inférieure à la contrainte de dose. Au final, même si la dose reçue lors de chaque opération était faible, la dose cumulée dépassait la limite de dose annuelle.

#### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	Le niveau de dose lié à l'événement réel était inférieur à la valeur donnée au chapitre 2 pour les conséquences réelles (à savoir inférieure à la contrainte de dose).
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour un événement associé à l'exposition d'un travailleur sont classées au niveau 4.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Le classement de base est en dessous de l'échelle/niveau 0 étant donné qu'il n'y a aucune dégradation des lignes de défense prévues pour empêcher des doses significatives aux travailleurs.
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, l'événement est classé en dessous de l'échelle/niveau 0.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Comme la limite annuelle de dose cumulée au corps entier a été dépassée, l'événement est classé au niveau 1 (section 6.2.4.3).
Classement global :	Niveau 1.

## Exemple 51. Défaillance de la maîtrise de la criticité — Niveau 1

### *Description de l'événement*

Un contrôle de routine de la conformité aux procédures d'exploitation dans une installation de fabrication de combustible a montré que six échantillons de pastilles de combustible avaient été incorrectement emballés. Outre l'emballage autorisé, chaque échantillon avait été placé dans un conteneur en plastique. Pour le conteneur en plastique, il était exigé qu'aucune matière hydrogénée outre l'emballage autorisé ne soit introduite dans le magasin. Cependant, cette exigence n'était pas clairement spécifiée pour ce magasin de combustible. Des investigations ultérieures ont montré que l'analyse du risque de criticité était difficile à interpréter, et que les contrôles visant à vérifier l'absence de risque de criticité étaient inappropriés pour permettre le respect des prescriptions de sûreté.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales d'un accident de criticité dans le magasin de combustible sont classées au niveau 4.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Les lignes de défense restantes concernant la prévention d'une inondation étaient les suivantes : <ul style="list-style-type: none"><li>— Plusieurs contrôles en place pour empêcher une inondation (supposée dans l'argumentaire de sûreté),</li><li>— Justification, dans l'argumentaire de sûreté, qu'une inondation n'entraînerait pas un accident de criticité</li></ul> Les lignes de défense restantes concernant les autres matières étaient les suivantes : <ul style="list-style-type: none"><li>— Procédures claires, formation et étiquetage pour éviter l'apport de matière hydrogénée</li><li>— Inspections pour détecter les écarts par rapport aux hypothèses de l'argumentaire de sûreté.</li></ul>
6.2.3. Détermination du classement de base :	Il restait deux lignes de défense. D'après le tableau 11, le classement de base est le niveau 1.

Critères	Explication
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	<p>Le niveau 1 est aussi approprié parce que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Les opérations étaient en dehors des LCE.</li> <li>— Des lacunes dans la culture de sûreté ont conduit à la mise en place de procédures et de contrôles inappropriés.</li> </ul> <p>Il n'est pas jugé nécessaire d'augmenter le niveau de l'événement sous l'angle de la défense en profondeur, parce que plusieurs défaillances auraient encore été nécessaires pour qu'un accident se produise (section 6.2.4, point 3)).</p>
Classement global :	Niveau 1.

### **Exemple 52. Perte prolongée de ventilation dans une installation de fabrication de combustible — Niveau 1**

#### *Description de l'événement*

Après une perte de ventilation normale et de secours et le non-respect des procédures, le personnel d'exploitation a travaillé pendant plus d'une heure sans confinement dynamique.

La ventilation joue un double rôle. Premièrement, elle dirige la radioactivité susceptible d'être disséminée dans un local fermé vers des circuits de filtration et de rejet contrôlé. Deuxièmement, elle crée un gradient de pression légèrement négatif dans ledit local fermé de manière à éviter le transfert de radioactivité vers d'autres zones. Cette forme de confinement est qualifiée de « confinement dynamique ».

L'événement a commencé par la perte d'alimentation électrique du système de ventilation normal. Le système de ventilation de secours, qui aurait dû prendre le relais, n'a pas démarré. Une enquête ultérieure a montré que la panne du système de ventilation normal et l'absence de démarrage du système de ventilation de secours étaient liées à cause d'un mode commun entre les alimentations électriques des deux systèmes. L'alarme a été donnée au poste de garde, mais elle n'est parvenue ni au personnel de surveillance, ni au personnel d'exploitation.

Le personnel d'exploitation a été seulement informé de l'alarme un peu plus d'une heure après le changement d'équipe.

Les résultats des mesures de la contamination atmosphérique enregistrés au niveau de tous les postes de travail surveillés n'ont pas indiqué une augmentation de la contamination atmosphérique.

## Justification du classement

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Le système de ventilation est conçu pour amener l'air des zones de faible contamination vers des zones de contamination plus élevée ou potentiellement plus élevée. S'il y avait eu un autre événement simultané (comme un incendie) entraînant une augmentation de pression, de la radioactivité, qui dans d'autres circonstances aurait été envoyée vers un système de filtration, aurait cette fois pu être envoyée dans une zone de service, puis vers l'atmosphère sans le même degré de filtration. Les conséquences potentielles maximales seraient de niveau 4 sur la base du rejet potentiel dans l'atmosphère.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Les lignes de défense indépendantes subsistantes, à l'exclusion des procédures d'urgence ultimes, étaient les suivantes : — Systèmes automatiques de lutte contre l'incendie ; — La structure du bâtiment, qui assure à la fois le confinement et la décontamination afin de ramener l'exposition en dessous de 0,1 mSv.
6.2.3. Détermination du classement de base :	Il y avait au moins deux lignes de défense efficaces. D'après le tableau 11, le classement de base est le niveau 1.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Bien que les procédures n'aient pas été respectées (travail poursuivi sans ventilation) et qu'il y ait des problèmes de cause commune concernant les alimentations électriques, il n'est pas jugé approprié d'augmenter le niveau, car plusieurs défaillances (incendie, défaillance des systèmes de lutte contre l'incendie, problèmes de confinement) étaient encore nécessaires avant qu'un accident ne se produise (section 6.2.4, point 3)).
Classement global :	Niveau 1.

### **Exemple 53. Défaillance du dispositif de verrouillage de portes blindées — Niveau 2**

#### *Description de l'événement*

L'événement s'est produit au moment où un conteneur de déchets vitrifiés de haute activité était déplacé vers une cellule alors que les portes blindées donnant accès à celle-ci étaient ouvertes à la suite d'une opération de

maintenance. L'ouverture des portes était commandée par un système de clés prisonnières, des dispositifs de verrouillage basés sur des détecteurs gamma et des systèmes de commande à logique programmable. Le système de contrôle des accès à la cellule avait été modifié deux fois durant les essais de mise en service pour tenter de l'améliorer. Il n'a pas réussi à empêcher le transfert de matières hautement radioactives dans la cellule alors que les portes blindées étaient ouvertes.

L'autorisation d'accès à cette zone pour le personnel requiert le port d'un dosimètre individuel muni d'une alarme.

Les personnes qui auraient pu se trouver dans la cellule ou dans les zones voisines auraient pu être sérieusement exposées aux rayonnements si elles n'avaient pas réagi soit au déplacement du conteneur soit à l'alarme de leur dosimètre. En l'occurrence, ces personnes ont rapidement compris le problème et ont fermé les portes blindées. Personne n'a reçu de dose supplémentaire.

La conception du contrôle des accès du personnel aux cellules avait été modifiée lors des essais de mise en service et les conséquences de ces modifications n'avaient pas été prises suffisamment en compte.

En particulier :

- Les essais de mise en service du système de clés prisonnières pour les portes blindées des cellules n'avaient pas permis de voir que le système était inadéquat ;
- Un système de commande à logique programmable n'avait pas été programmé et mis en service correctement ;
- Les modifications avaient été assez mal évaluées et mal contrôlées, parce que leur importance pour la sûreté n'avait pas été correctement identifiée ;
- Les concepteurs et le personnel des essais de mise en service n'avaient pas communiqué correctement.

L'autorisation de travail pour les opérations de maintenance avait été close, ce qui laissait croire que l'installation était revenue à son état normal, alors que ce n'était pas le cas.

Le système de proposition de modifications temporaires de l'installation était trop souvent utilisé, tout en étant mal contrôlé, et le système global de proposition de modifications de l'installation avait besoin d'être amélioré.

La formation et la supervision des accès aux cellules blindées étaient inappropriées.

## *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales pour de telles pratiques sont classées au niveau 4 (dose létale).
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Malgré la défaillance de plusieurs lignes de défense, il en subsistait une, à savoir la procédure d'autorisation d'accès aux cellules exigeant le port de dosimètres individuels munis d'une alarme.
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, le classement maximum sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 2.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Le classement ne peut pas être relevé au-delà du classement maximum sous l'angle de la défense en profondeur.
Classement global :	Niveau 2.

### **Exemple 54. Excursion de puissance dans un réacteur de recherche pendant le chargement de combustible — Niveau 2**

#### *Description de l'événement*

Une excursion de puissance, qui a entraîné l'arrêt du réacteur pour cause de surpuissance, s'est produite dans un réacteur de recherche pendant une opération de rechargement du combustible. Il s'agit d'un petit réacteur de type piscine. Après le remplacement d'une barre de pilotage, les assemblages combustibles étaient en cours de remise en place dans le cœur. Après le chargement du cinquième assemblage combustible, les barres de pilotage ont été retirées pour vérifier que le réacteur n'était pas critique. Elles ont été positionnées à 85 % de retrait au lieu des 40 % requis (position de sauvegarde). Lors de l'insertion du sixième assemblage combustible, une lueur bleue a été observée et le réacteur est passé en surpuissance. Le système d'arrêt sur flux neutronique avait été neutralisé de manière à éviter les déclenchements intempestifs pendant les manutentions de combustible nécessaires pour charger le cœur, et n'avait pas été remis en service. La valeur maximale du transitoire de puissance a été estimée à environ 300 % de la pleine puissance. Les procédures liées au rechargement ont été réexaminées et sont en cours de révision.

### *Justification du classement*

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Pour ce type de réacteur, on a démontré que les conséquences potentielles maximales ne dépasseraient pas le niveau 4.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	La seule barrière empêchant un rejet important était l'arrêt pour cause de surpuissance. Les détails concernant cette protection ne sont pas donnés, mais, à moins de pouvoir démontrer que deux ou plusieurs voies de protection redondantes restent, efficaces dans les conditions prévalant lors de l'événement, il faut supposer qu'il n'y avait qu'une seule ligne empêchant un rejet important.
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, le classement de base est le niveau 2.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Le classement ne peut pas être relevé au-delà du classement maximum sous l'angle de la défense en profondeur.
Classement global :	Niveau 2.

### **Exemple 55. Approche d'une masse critique dans une installation de retraitement — Niveau 2**

#### *Description de l'événement*

Dans une installation de retraitement de plutonium, une fuite s'est produite sur une canalisation transportant du nitrate de plutonium chaud, pendant environ 24 heures. Au total, 31 kg de nitrate de plutonium ont coulé dans la cellule où se trouvait la canalisation. La fuite a été détectée lors de l'inspection visuelle quotidienne. Le nitrate de plutonium chaud a coulé sur les surfaces externes d'un évaporateur et est tombé goutte à goutte sur le sol incliné de la cellule recouvert d'acier inoxydable. Pendant la fuite, le liquide s'est évaporé, et le plutonium s'est déposé sous forme cristalline dans la partie inférieure de la canalisation et sur le sol de la cellule, formant des structures de type stalactites et stalagmites. La fuite n'était pas suffisamment importante pour que le liquide atteigne le puisard de détection, ce qui explique qu'elle n'ait été détectée que par une ronde de surveillance. Par la suite, la cellule a été décontaminée, la canalisation et l'évaporateur remplacés, et l'installation a été remise en fonctionnement.

La quantité de plutonium présente dans la canalisation et sur le sol ne dépassait pas la masse critique minimale pour la solution traitée à ce moment-là,

mais si l'événement s'était produit lors du traitement d'une matière plus concentrée, la masse critique aurait pu être dépassée.

### *Justification du classement*

Il convient d'analyser l'événement selon deux points de vue : premièrement, les rejets à partir de l'installation ; deuxièmement, les doses aux travailleurs.

### **Rejets possibles à partir de l'installation :**

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	La dispersion de toutes les matières accumulées dans la cellule pourrait entraîner un rejet dans l'environnement correspondant au niveau 5.
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Il y avait au moins deux lignes de défense disponibles pour éviter un tel rejet : <ul style="list-style-type: none"> <li>— La structure en béton de la cellule contenant le plutonium, qui n'aurait pas pu céder à l'énergie qui aurait été dégagée, même s'il y avait eu une réaction de criticité ;</li> <li>— L'ensemble comprenant la structure en béton du bâtiment et les systèmes de ventilation (ventilation normale et de secours).</li> </ul>
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, le classement de base est le niveau 2.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Aucun facteur supplémentaire ne justifie d'augmenter le classement.
Classement global :	Niveau 2.

## Doses possibles aux travailleurs :

Critères	Explication
2. et 3. Conséquences réelles :	L'événement n'a pas eu de conséquences réelles.
6.2.1. Conséquences potentielles maximales :	Les conséquences potentielles maximales sont au niveau 4 (dose létale).
6.2.2. Détermination du nombre de lignes de défense :	Il ne restait plus de ligne de défense pour protéger contre une réaction de criticité.
6.2.3. Détermination du classement de base :	D'après le tableau 11, le classement de base est le niveau 2.
6.2.4. Facteurs supplémentaires :	Le classement ne peut pas être relevé au-delà du classement maximum sous l'angle de la défense en profondeur.
Classement global :	Niveau 2.

## 7. PROCÉDURE DE CLASSEMENT

Les organigrammes qui figurent dans les pages ci-après (figures 4 à 10) décrivent succinctement la procédure de classement sur l'INES de tout événement associé à des sources de rayonnements ou se produisant pendant le transport, l'entreposage et l'utilisation de matières radioactives.

Les organigrammes ont été conçus pour illustrer l'itinéraire logique à suivre afin d'évaluer l'importance de chaque événement pour la sûreté. Ils fournissent une vue d'ensemble aux personnes qui ne sont pas familiarisées avec le classement des événements, ainsi qu'un résumé de la procédure pour les personnes qui connaissent le manuel de l'utilisateur de l'INES. Des notes explicatives et des tableaux viennent s'ajouter aux organigrammes quand le besoin s'en fait sentir ; cependant, les organigrammes ne doivent pas être utilisés isolément, sans prendre en compte les indications détaillées données dans le manuel. L'AIEA a aussi élaboré un outil internet, basé sur les organigrammes, pour aider à la formation concernant la méthodologie de classement sur l'INES.

En plus des organigrammes, deux tableaux d'exemples (tableaux 12 et 13) sont inclus pour illustrer la façon dont certains événements réels ont été classés.

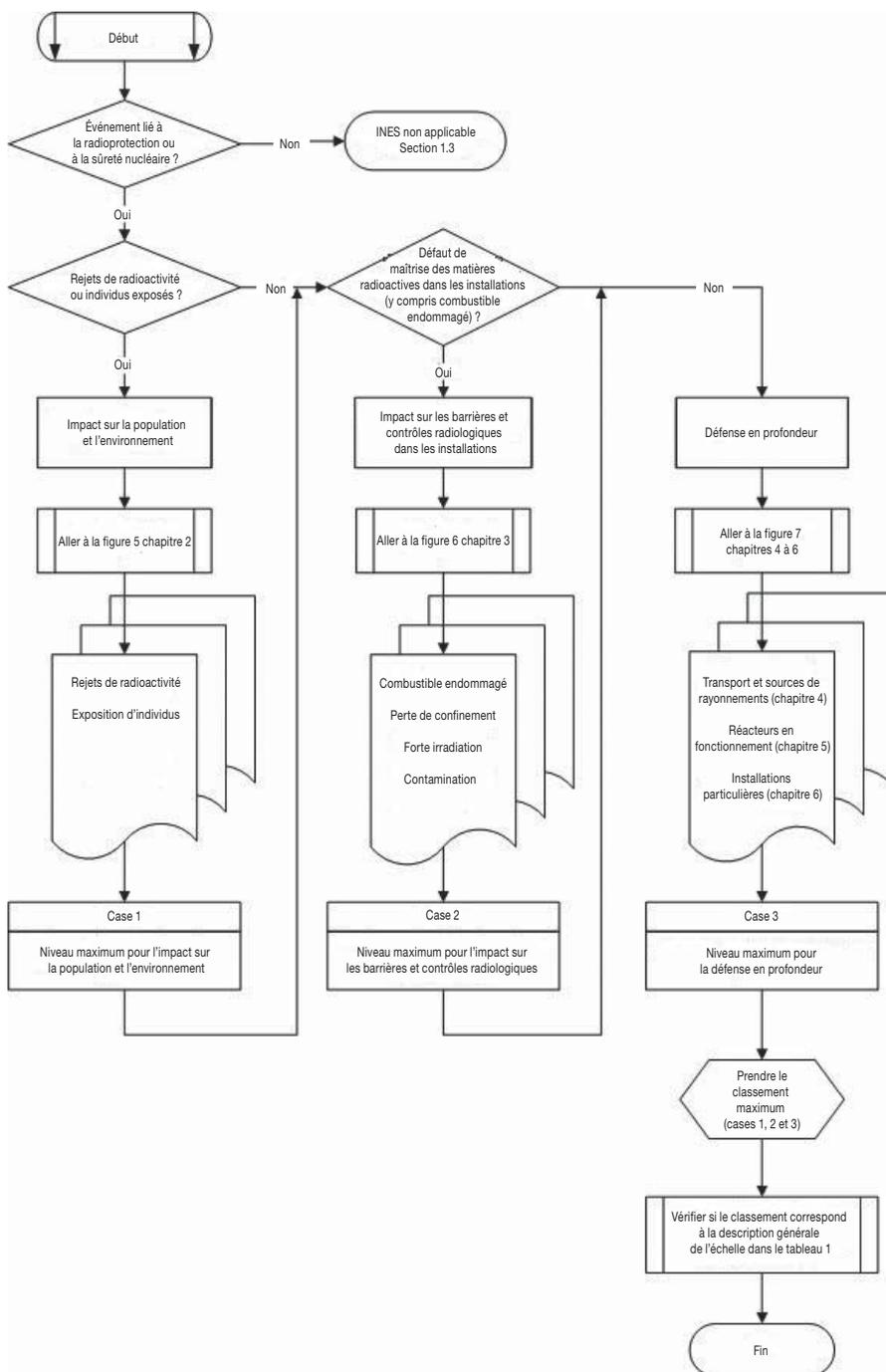
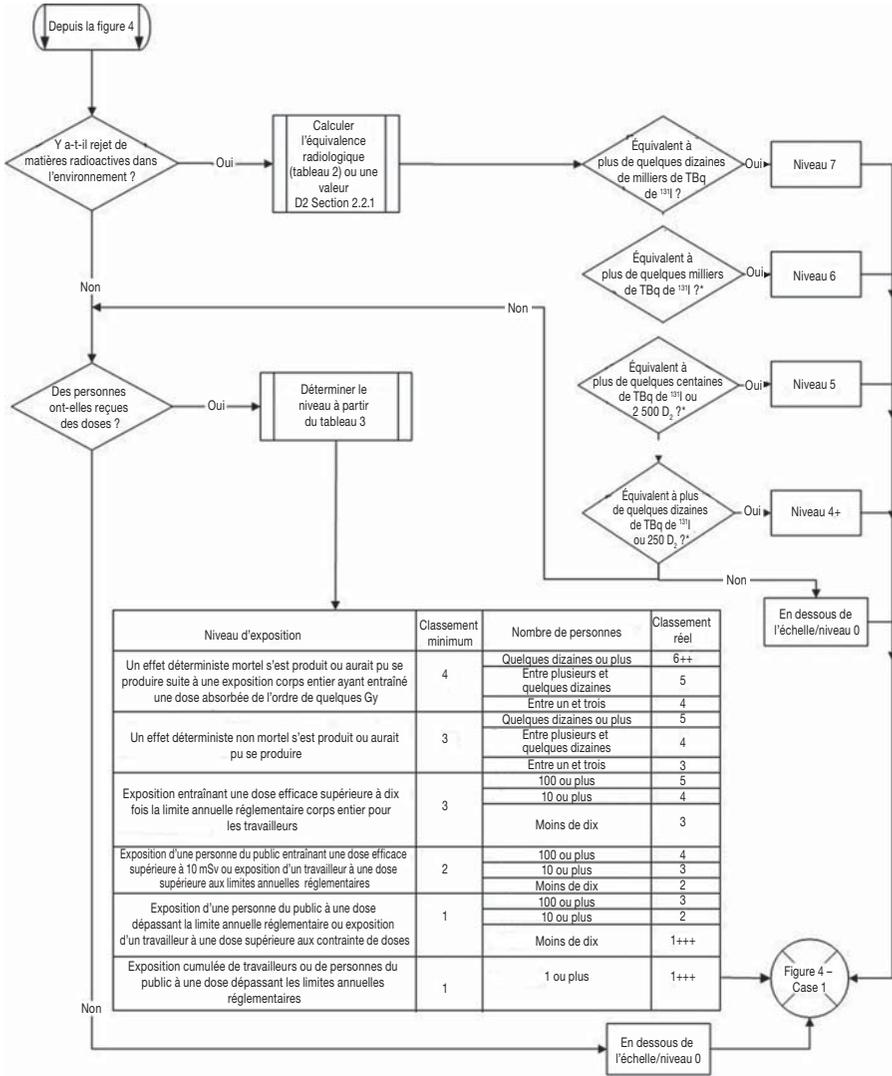


FIG. 4. Procédure générale de classement sur l'INES.



- Ces critères s'appliquent à des accidents pour lesquels les estimations de l'importance des rejets ne peuvent qu'être approximatives. C'est pourquoi il n'est pas approprié d'utiliser des valeurs numériques précises dans la définition du niveau. Cependant, pour assurer une interprétation cohérente de ces critères internationaux, on suggère que les limites entre les niveaux soient autour de 5 000 et 50 000 TBq de <sup>131</sup>I.
- + Il faut aussi se demander si un classement plus élevé est approprié en évaluant les doses reçues par les personnes à l'intérieur de l'installation en utilisant le tableau 3.
- ++ Le niveau 6 n'est pas considéré comme crédible pour un événement mettant en jeu des sources de rayonnements.
- +++ Comme cela est expliqué à la section 2.4, les définitions du niveau 1 sont fondées sur les critères de défense en profondeur expliqués aux chapitres 4 à 6, mais inclus par souci d'exhaustivité.

FIG. 5. Procédure de classement en fonction de l'impact sur la population et l'environnement.

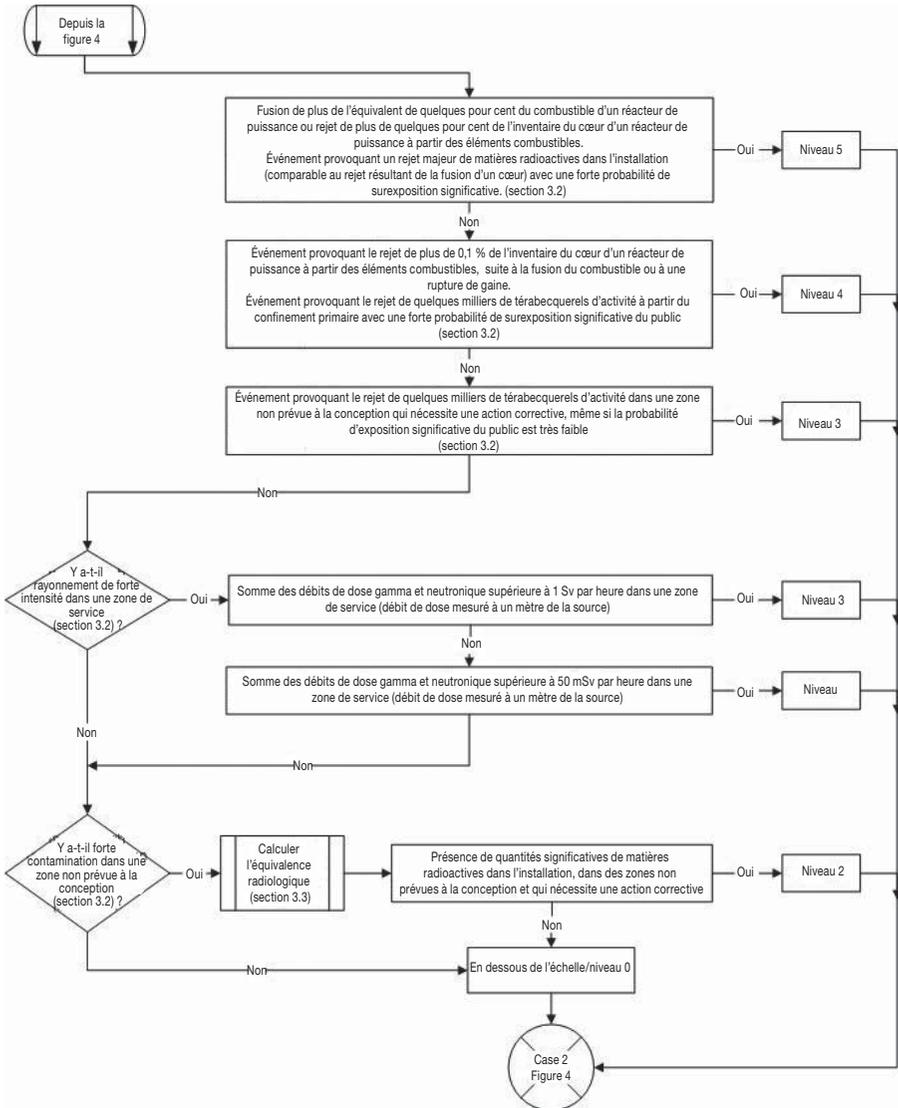


FIG. 6. Procédure de classement en fonction de l'impact sur les barrières et contrôles radiologiques dans les installations.

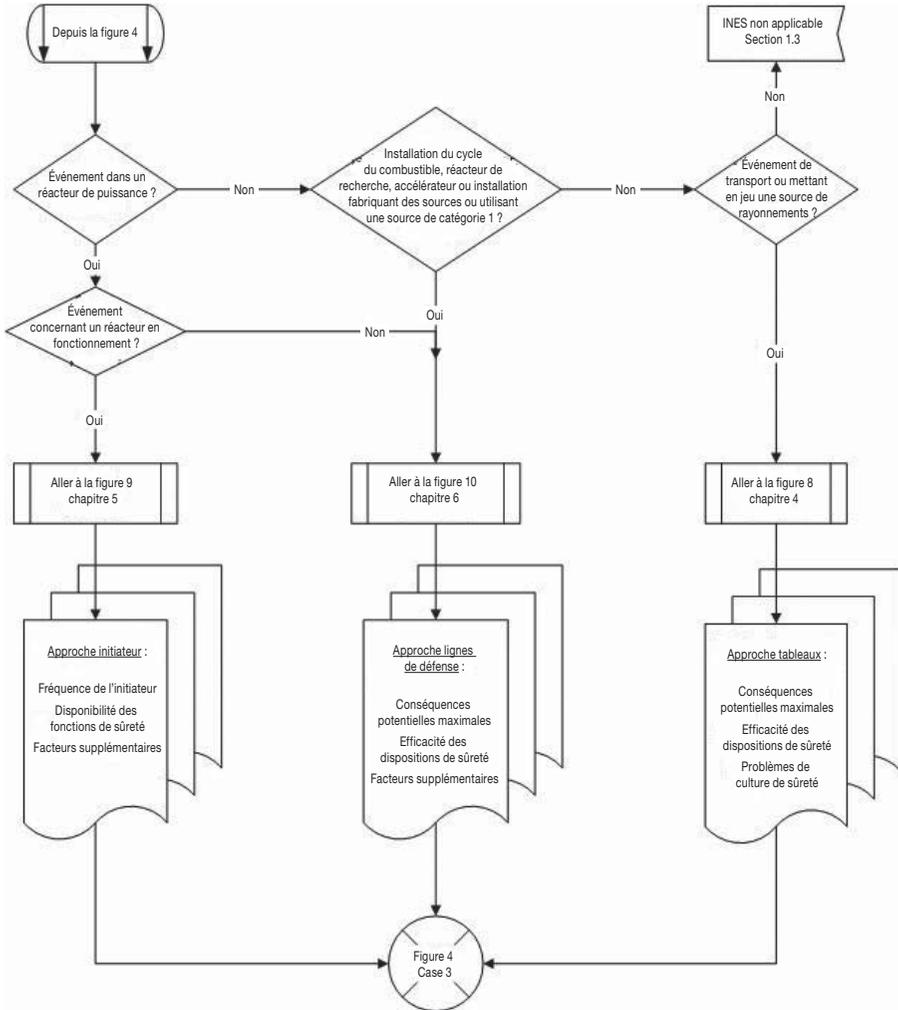


FIG. 7. Procédure générale de classement en fonction de l'impact sur la défense en profondeur.

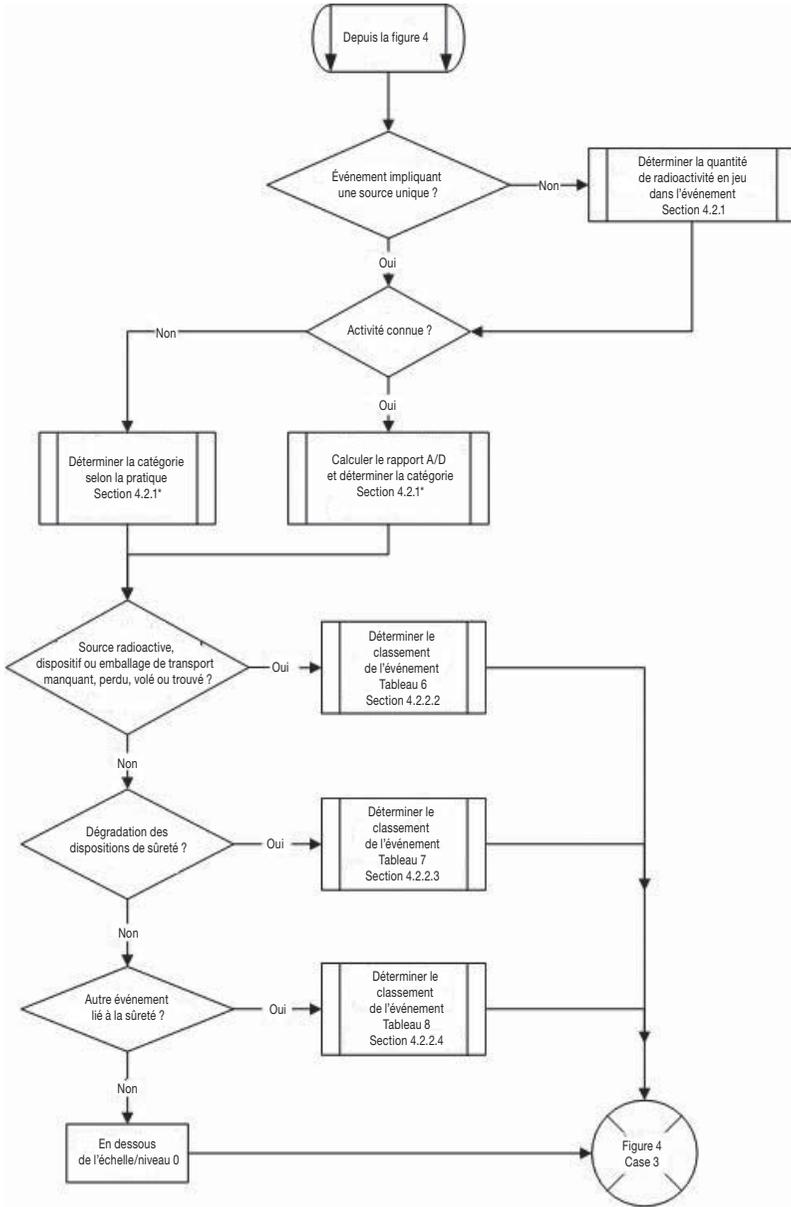
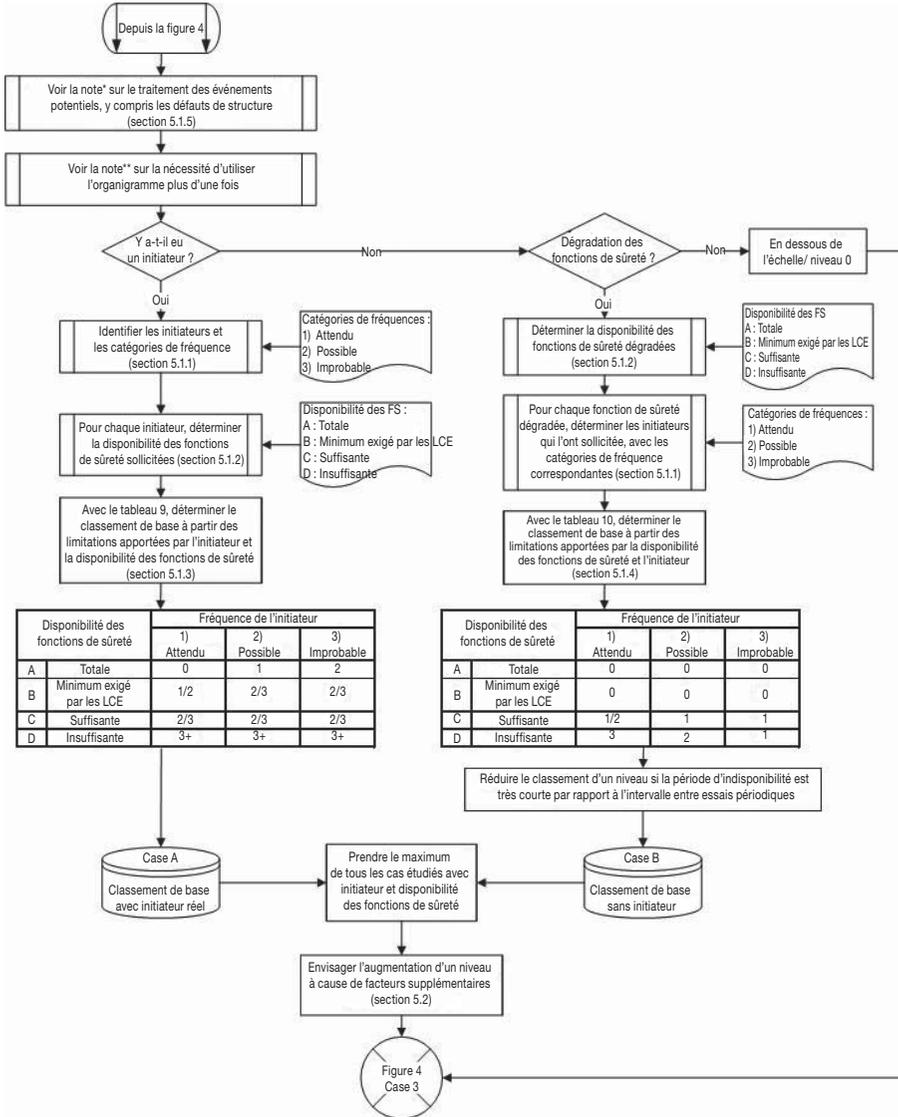


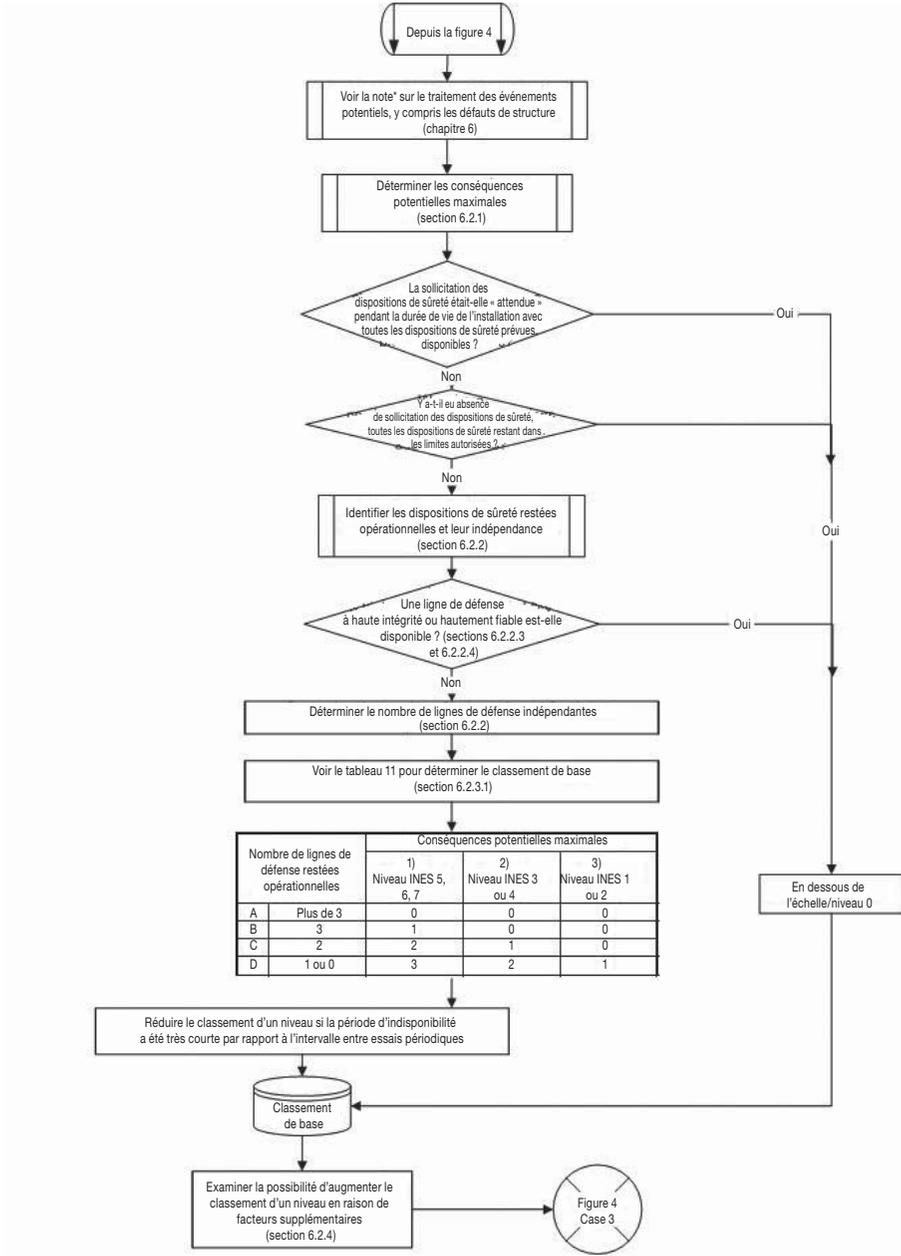
FIG. 8. Procédure de classement de l'impact sur la défense en profondeur pour les événements liés au transport et aux sources de rayonnements.



\* Pour un événement potentiel, supposer qu'il s'est réellement produit et évaluer le classement de l'événement potentiel en utilisant cet organigramme. Puis diminuer le classement en fonction de la probabilité selon laquelle l'événement potentiel aurait pu se produire. Voir section 5.1.5.

\*\* Un événement peut être la combinaison d'initiateurs et de la dégradation des fonctions de sûreté. Par conséquent, il peut être nécessaire de parcourir cet organigramme plusieurs fois pour identifier la combinaison d'initiateur et de fonction de sûreté qui donne le classement le plus élevé. Voir section 5.1.

FIG. 9. Procédure de classement en fonction de l'impact sur la défense en profondeur pour les réacteurs de puissance en fonctionnement.



\* Pour un événement potentiel, supposer qu'il s'est réellement produit et évaluer le classement de l'événement potentiel en utilisant cet organigramme. Puis diminuer le classement en fonction de la probabilité selon laquelle l'événement potentiel aurait pu se produire. Voir section 6.2.3.2.

FIG. 10. Procédure de classement en fonction de l'impact sur la défense en profondeur pour les installations du cycle du combustible, les réacteurs de recherche, les accélérateurs ou les installations contenant des sources de catégorie 1, et les réacteurs à l'arrêt.

**TABEAU 12. EXEMPLES ILLUSTRANT LES CRITÈRES DE L'INES POUR LE CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS SURVENANT DANS DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES**

	<b>Population et environnement</b>	<b>Barrières et contrôles radiologiques</b>	<b>Défense en profondeur.</b>
<b>Accident majeur Niveau 7</b>	Tochernobyl, 1986. Effets considérables sur la santé et l'environnement. Rejet à l'extérieur d'une fraction importante de la radioactivité du cœur du réacteur.		
<b>Accident grave Niveau 6</b>	Kyshtym (Russie), 1957. Rejet important de matières radioactives dans l'environnement à la suite à l'explosion d'une cuve de déchets de haute activité.		
<b>Accident ayant des conséquences étendues Niveau 5</b>	Windscale Pile (Royaume-Uni), 1957. Rejets de matières radioactives dans l'environnement à la suite d'un incendie dans un cœur de réacteur.	Three Mile Island (États-Unis), 1979. Endommagement grave du cœur d'un réacteur.	
<b>Accident ayant des conséquences locales Niveau 4</b>	Tokaimura (Japon), 1999. Surexposition mortelle de travailleurs à la suite d'un événement de criticité dans une installation nucléaire.	Saint-Laurent-des-Eaux (France), 1980. Fusion d'un canal à combustible dans le réacteur sans rejet hors du site.	
<b>Incident grave Niveau 3</b>	<i>Pas d'exemple disponible</i>	Sellafield (Royaume-Uni), 2005. Rejet d'une grande quantité de matières radioactives à l'intérieur de l'installation.	Vandellos (Espagne), 1989. Accident évité de peu à la suite d'un incendie provoquant la perte des systèmes de sûreté dans une centrale nucléaire.
<b>Incident Niveau 2</b>	Atucha (Argentine), 2005. Surexposition d'un travailleur dans une centrale nucléaire dépassant la limite annuelle.	Cadarache (France), 1993. Contamination d'une zone non prévue à la conception.	Forsmark (Suède), 2006. Fonctions de sûreté dégradées avec facteurs supplémentaires pour défaillance de cause commune dans le système d'énergie de secours d'une centrale nucléaire.
<b>Anomalie Niveau 1</b>			<b>Non-respect des limites d'exploitation dans une installation nucléaire.</b>

TABLEAU 13. EXEMPLES ILLUSTRANT LES CRITÈRES DE L'INES POUR LE CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS CONCERNANT LES SOURCES DE RAYONNEMENTS ET LE TRANSPORT

	Population et environnement	Défense en profondeur.
<b>Accident majeur</b> Niveau 7		
<b>Accident grave</b> Niveau 6		
<b>Accident ayant des conséquences étendues</b> Niveau 5	Goïânia (Brésil), 1987. Quatre personnes sont décédées et six ont reçu des doses de quelques Gy par exposition à une source au <sup>137</sup> Cs hautement radioactive abandonnée et brisée.	
<b>Accident ayant des conséquences locales</b> Niveau 4	Fleurus (Belgique), 2006. Effets sanitaires graves chez un travailleur d'une installation industrielle d'irradiation ayant reçu des doses élevées de rayonnements.	
<b>Incident grave</b> Niveau 3	Yanango (Pérou), 1999. Incident mettant en jeu une source de radiographie et provoquant des brûlures graves.	Ikiteili (Turquie), 1999. Perte d'une source au <sup>60</sup> Co de haute activité.
<b>Incident</b> Niveau 2	États-Unis, 2005. Surexposition d'un technicien de radiographie dépassant la limite annuelle pour les travailleurs sous rayonnements.	France, 1995. Défaillance des systèmes de contrôle des accès dans une installation équipée d'un accélérateur.
<b>Anomalie</b> Niveau 1		Vol d'un densimètre.



## Appendice I

### CALCUL DE L'ÉQUIVALENCE RADIOLOGIQUE

#### I.1. INTRODUCTION

Le présent appendice montre comment sont déterminés les facteurs de multiplication qui peuvent être appliqués à l'activité rejetée d'un radionucléide particulier pour obtenir l'activité à comparer à celle indiquée pour  $^{131}\text{I}$ . Dans cette analyse, les valeurs des coefficients d'inhalation sont reprises des NFI [14], tandis que les facteurs de dépôt au sol proviennent du document IAEA-TECDOC-1162 [15]. Ces deux publications sont en cours de mise à jour, ce qui ne devrait toutefois avoir que peu d'impact sur les chiffres du tableau 14.

Alors que d'autres parties du présent manuel utilisent les valeurs D pour comparer l'importance relative de différents isotopes, une autre approche est appliquée dans le présent appendice. En effet, les calculs de la valeur D sont fondés spécifiquement sur des scénarios qui sont pertinents uniquement pour la manutention ou le transport de sources radioactives. Les facteurs d'équivalence radiologique calculés ici sont basés sur des scénarios plus adaptés à des accidents survenant dans des installations.

#### I.2. MÉTHODE

Les scénarios et la méthodologie sont résumés ci-après.

Pour les rejets dans l'air, les deux composantes suivantes ont été additionnées :

- La dose efficace pour les personnes du public adultes,  $D_{\text{inh}}$ , calculée sur la base de l'inhalation d'une concentration unitaire d'air [14], avec un débit respiratoire de  $3,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- La dose efficace pour les adultes, intégrée sur 50 ans, due au dépôt de radionucléides sur le sol, en prenant en compte les phénomènes de remise en suspension, l'exposition aux intempéries et la rugosité du sol [15]. Le dépôt au sol est lié à la concentration dans l'air en utilisant des vitesses de dépôt ( $V_g$ ) de  $10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  pour l'iode élémentaire et de  $1,5 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  pour d'autres matières. La dose intégrée sur 50 ans, due au dépôt au sol d'une quantité unitaire de chaque radionucléide, est utilisée ( $D_{\text{gnd}}$  (Sv par  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ )).

Les doses par ingestion ne sont pas incluses dans ce calcul, étant donné que les niveaux de contamination de la nourriture entraînant une intervention éviteraient toute dose importante aux personnes affectées par l'accident.

La dose totale ( $D_{\text{tot}}$ ) résultant d'un rejet d'activité  $Q$  et de la concentration  $X$  ( $\text{Bq}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$  par  $\text{Bq}$  rejeté) en radionucléides dans l'air au niveau du sol intégrée sur le temps s'établit comme suit :

$$D_{\text{tot}} = Q \cdot X \cdot (D_{\text{inh}} \cdot \text{débit respiratoire} + V_{\text{g}} \cdot D_{\text{gnd}})$$

Pour chaque radionucléide, l'équivalence radiologique par rapport à  $^{131}\text{I}$  a été calculée comme le ratio  $D_{\text{tot}}/(Q \cdot X)$ .

La contamination de l'installation ne tient compte que de la voie d'exposition par inhalation, et les coefficients d'inhalation ne concernent que les travailleurs.

### I.3. DONNÉES DE BASE

Les coefficients d'inhalation utilisés dans les calculs sont tirés des NFI [14], à l'exception de ceux pour  $U_{\text{nat}}$ , qui n'est pas indiqué dans ce document. Les valeurs pour  $U_{\text{nat}}$  ont été calculées en additionnant les apports de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  et leurs principaux produits de filiation, en utilisant les rapports  $^{234}\text{U}$  (48,9 %),  $^{235}\text{U}$  (2,2 %) et  $^{238}\text{U}$  (48,9 %). S'il y a plusieurs types d'absorption par les poumons pour un même radionucléide, on a retenu la valeur maximale du coefficient d'inhalation, sauf pour l'uranium pour lequel tous les types sont indiqués.

Les doses intégrées sur 50 ans dues au dépôt au sol sont tirées du document IAEA-TECDOC-1162 [15].

### I.4. RÉSULTATS

Les facteurs de multiplication applicables à la fois à la contamination de l'installation et aux rejets dans l'air ont été obtenus en divisant la valeur pour chaque radionucléide par celle pour  $^{131}\text{I}$ . Ils sont donnés dans les tableaux 14 et 15. Le tableau 16 donne les résultats qui doivent être utilisés dans l'INES (arrondis à un chiffre significatif).

TABLEAU 14. FACTEURS POUR UNE CONTAMINATION DE L'INSTALLATION (INHALATION UNIQUEMENT)

Radionucléide	Coefficient d'inhalation Sv par Bq [14] (travailleurs)	Ratio par rapport à <sup>131</sup> I
Am-241	2,70E-05	2 454,5
Co-60	1,70E-08	1,5
Cs-134	9,60E-09	0,9
Cs-137	6,70E-09	0,6
H-3	1,80E-11	0,002
I-131	1,10E-08	1,0
Ir-192	4,90E-09	0,4
Mn-54	1,20E-09	0,1
Mo-99	5,60E-10	0,05
P-32	2,90E-09	0,3
Pu-239	3,2E-05	2 909,1
Ru-106	3,50E-08	3,2
Sr-90	7,70E-08	7,0
Te-132	3,00E-09	0,3
U-235(L) <sup>a</sup>	6,10E-06	554,5
U-235(M) <sup>a</sup>	1,80E-06	163,6
U-235(R) <sup>a</sup>	6,00E-07	54,5
U-238 (L) <sup>a</sup>	5,70E-06	518,2
U-238(M) <sup>a</sup>	1,60E-06	145,5
U-238 (R)	5,80E-07	52,7
U <sub>nat</sub>	6,25E-06	567,9

<sup>a</sup> Types d'absorption par les poumons : L — lente, M — modérée, R — rapide. En cas d'incertitude, utiliser la valeur la plus prudente.

TABLEAU 15. REJETS DANS L'AIR : DOSES DUES AU DÉPÔT AU SOL ET À L'INHALATION

	Coefficient de Dose sur 50 ans due au dépôt au sol [15]		Facteur de dose pour l'inhalation [14] (public)	Dose par inhalation	Dose totale	Ratio par rapport à <sup>131</sup> I
Radio-nucléide	Sv par Bq·m <sup>-2</sup>	Sv par Bq·s·m <sup>-3</sup>	Sv par Bq	Sv par Bq·s·m <sup>-3</sup>	Sv par Bq·s·m <sup>-3</sup>	
Am-241	6,40E-06	1,01E-08	9,60E-05	3,17E-08	4,17E-08	8 100
Co-60	1,70E-07	2,55E-10	3,10E-08	1,02E-11	2,65E-10	51
Cs-134	5,10E-09	7,65E-11	2,00E-08	6,60E-12	1,43E-11	2,8
Cs-137	1,30E-07	1,95E-10	3,90E-08	1,29E-11	2,08E-10	40
H-3	0,00E+00	0,00E+00	2,60E-10	8,58E-14	8,58E-14	0,020
I-131	2,70E-10	2,70E-12	7,40E-09	2,44E-12	5,14E-12	1,0
Ir-192	4,40E-09	6,60E-09	6,60E-09	2,18E-12	8,78E-12	1,7
Mn-54	1,40E-08	2,10E-11	1,50E-09	4,95E-13	2,15E-11	4,2
Mo-99	6,10E-11	9,15E-14	9,90E-10	3,27E-13	4,18E-13	0,08
P-32	6,80E-12	1,02E-14	3,40E-09	1,12E-12	1,13E-12	0,22
Pu-239	8,50E-06	1,28E-08	1,20E-04	3,96E-08	5,24E-08	10 000
Ru-106	4,80E-09	7,20E-12	6,60E-08	2,18E-11	2,90E-11	5,6
Sr-90	2,10E-08	3,15E-11	1,60E-07	5,28E-11	8,43E-11	16
Te-132	6,90E-10	1,04E-12	2,00E-09	6,60E-13	1,70E-12	0,33
U-235(L) <sup>a</sup>	1,50E-06	2,25E-09	8,50E-06	2,81E-09	5,06E-09	980
U-235(M) <sup>a</sup>	1,50E-06	2,25E-09	3,10E-06	1,02E-09	3,27E-09	640
U-235(R) <sup>a</sup>	1,50E-06	2,25E-09	5,20E-07	1,72E-10	2,42E-09	470
U-238(L) <sup>a</sup>	1,40E-06	2,10E-09	8,00E-06	2,64E-09	4,74E-09	920
U-238(M) <sup>a</sup>	1,40E-06	2,10E-09	2,90E-06	9,57E-10	3,06E-09	590
U-238(R) <sup>a</sup>	1,40E-06	2,10E-09	5,00E-07	1,65E-10	2,27E-09	440
U <sub>nat</sub>	1,80E-06	2,70E-09	1,04E-05	3,42E-09	6,12E-09	1 200
Gaz rares						Négligeable = 0 effectivement

<sup>a</sup> Types d'absorption par les poumons : L — lente, M — modérée, R — rapide. En cas d'incertitude, utiliser la valeur la plus prudente.

TABLEAU 16. ÉQUIVALENCES RADIOLOGIQUES

Radionucléide	Facteurs de multiplication <sup>a</sup>	
	Contamination de l'installation	Rejet atmosphérique
Am-241	2 000	8 000
Co-60	2	50
Cs-134	0,9	3
Cs-137	0,6	40
H-3	0,002	0,02
I-131	1	1
Ir-192	0,4	2
Mn-54	0,1	4
Mo-99	0,05	0,08
P-32	0,3	0,2
Pu-239	3 000	10 000
Ru-106	3	6
Sr-90	7	20
Te-132	0,3	0,3
U-235(L) <sup>b</sup>	600	1 000
U-235(M) <sup>b</sup>	200	600
U-235(R) <sup>b</sup>	50	500
U-238(L) <sup>b</sup>	500	900
U-238(M) <sup>b</sup>	100	600
U-238(R) <sup>b</sup>	50	400
U <sub>nat</sub>	600	1 000

<sup>a</sup> Les facteurs de multiplication sont arrondis à un chiffre significatif.

<sup>b</sup> Types d'absorption par les poumons : L — lente, M — modérée, R — rapide. En cas d'incertitude, utiliser la valeur la plus prudente.

## Appendice II

### NIVEAUX DE SEUIL POUR LES EFFETS DÉTERMINISTES

Les critères liés aux effets déterministes de la section 2.3.1 font référence à des effets déterministes observables. Cependant, si l'on ne sait pas au moment du classement si un effet déterministe se produira réellement, les données du présent appendice peuvent être utilisées pour déterminer un classement en se fondant sur les doses.

#### II.1. EFFETS DÉTERMINISTES LÉTAUX

Sur la base de la réf. [10], la probabilité de décès à court terme par irradiation, avec traitement médical, est donnée dans le tableau 17 pour un certain nombre d'expositions.

#### II.2. AUTRES EFFETS DÉTERMINISTES

Pour l'évaluation de l'exposition externe, les niveaux de seuil sont exprimés en termes de dose absorbée pondérée selon l'efficacité biologique relative (EBR), et sont donnés dans le tableau 18. Pour l'évaluation de l'exposition interne, les niveaux de seuil sont exprimés en termes de dose absorbée engagée pondérée selon l'EBR et sont donnés dans le tableau 19. Les EBR sont indiquées dans le tableau 20. Tous les tableaux sont des versions simplifiées de ceux du document *EPR-D-values-2006* [5] de l'AIEA.

TABLEAU 17. PROBABILITÉ D'EFFETS DÉTERMINISTES LÉTAUX PAR SUREXPOSITION

Dose corps entier à court terme (Gy)	Probabilité de décès à court terme dû à une irradiation avec traitement médical (%)
0,5	0
1	0
1,5	< 5
2	< 5
3	15 à 30
6	50
10	90

TABLEAU 18. NIVEAUX DE SEUIL DE DOSE PONDÉRÉE SELON L'EBR POUR UNE EXPOSITION EXTERNE

Exposition	Effet	Organe ou tissu	Valeur du niveau de seuil (Gy)
Exposition locale à une source adjacente	Nécrose des tissus mous	Tissu mou <sup>a</sup>	25
Exposition par contact due à une contamination superficielle	Desquamation humide	Derme ou peau	10 <sup>c</sup>
Exposition corps entier à une source distante ou par immersion	(Note b)	Torse	1 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Tissu mou sur une superficie de 100 cm<sup>2</sup> et sur une profondeur d'environ 0,5 cm sous la surface du corps.

<sup>b</sup> La valeur est la dose de seuil minimum pour l'apparition d'un effet déterministe grave à partir d'une irradiation uniforme corps entier. Le niveau de seuil de 1 Gy a été sélectionné parce que c'est la limite inférieure des niveaux de seuil pour l'apparition d'effets déterministes dans la moelle osseuse rouge, la thyroïde, le cristallin et les organes reproductifs, comme indiqué dans le tableau I-3 du document AIEA-TECDOC-1432 [8].

<sup>c</sup> Une exposition à ce niveau d'au moins 100 cm<sup>2</sup> de peau est estimée nécessaire pour l'apparition d'effets déterministes graves sur la santé. La dose à la peau est calculée à une profondeur de 40 mg/cm<sup>2</sup> (ou 0,4 mm) sous la surface.

TABLEAU 19. NIVEAUX DE SEUIL DE DOSE ENGAGÉE PONDÉRÉE SELON L'EBR POUR UNE EXPOSITION INTERNE

Voie d'exposition	Effet	Organe ou tissu affecté	Niveau de seuil	
			Valeur (Gy)	Périodes d'engagement (Note d)
Inhalation et ingestion	Syndrome hématopoïétique	Moelle rouge <sup>a,b</sup>	0,2 <sup>c</sup> 2 <sup>d</sup>	30
Inhalation	Pneumonie	Région alvéolaire interstitielle ou voies respiratoires	30	30
Inhalation et ingestion	Syndrome gastro-intestinal	Côlon	20	30
Inhalation et ingestion	Hypothyroïdie	Thyroïde	2 <sup>e</sup>	365 <sup>f</sup>

<sup>a</sup> Dans les cas de soins médicaux.

<sup>b</sup> Les radionucléides avec  $Z \geq 90$  comparés à  $Z \leq 89$  ont différents processus biocinétiques, d'où la dynamique de formation de doses différente dans la moelle rouge due à une exposition interne. Par conséquent, les radionucléides ont été divisés en deux groupes pour éviter un excès de prudence en évaluant le risque de l'effet sanitaire concerné.

<sup>c</sup> Pour les radionucléides avec  $Z \geq 90$ .

<sup>d</sup> Pour les radionucléides avec  $Z \leq 89$ .

<sup>e</sup> La valeur de l'appendice A de la réf. [9] a été utilisée.

<sup>f</sup> Considérant la période biologique et physique des radionucléides qui provoquent une dose importante dans la thyroïde (isotopes de I et de Te), ces facteurs de dose étaient en fait évalués pour une période d'engagement très inférieure à 365 jours ; cependant, la période d'engagement de 365 jours est attribuée à ce niveau de référence.

TABLEAU 20. EBR UTILISÉES POUR LES EFFETS DÉTERMINISTES GRAVES SUR LA SANTÉ

Effet sur la santé	Organe critique	Exposition <sup>a</sup>	EBR
Syndrome hématopoïétique <sup>b</sup>	Moelle	Externe $\gamma$	1
		Externe $n^0$	3
	rouge	Interne $\beta, \gamma$	1
		Interne $\alpha$	2
Pneumonie	Poumons	Interne $\beta, \gamma$	1
		Interne $\alpha$	7
Syndrome gastro-intestinal	Côlon	Interne $\beta, \gamma$	1
		Interne $\alpha$	0 <sup>c</sup>
		Externe $n^0$	3
Desquamation humide	Peau <sup>d</sup>	Externe $\beta, \gamma$	1
Thyroïdite d'irradiation aiguë	Thyroïde	Absorption d'isotopes de l'iode <sup>e</sup>	0,2
		Autres isotopes se fixant sur la thyroïde	1
Nécrose	Tissu mou <sup>f</sup>	Externe $\beta, \gamma$	1

<sup>a</sup> L'exposition externe  $\beta, \gamma$  inclut les doses de rayonnement de freinage produit à l'intérieur des matières de la source.

<sup>b</sup> Dans les cas de soins médicaux.

<sup>c</sup> Pour les émetteurs alpha répartis uniformément dans le contenu du côlon, on suppose que l'irradiation des parois de l'intestin est négligeable.

<sup>d</sup> Pour une superficie de peau de 100 cm<sup>2</sup>, qui est considérée comme mettant en danger la vie de la personne [9], la dose à la peau doit être calculée pour une profondeur de 0,4 mm, comme recommandé dans la réf. [10], par. 305), 306) et 310), la réf. [11] et la section 3.4.1 de la réf. [12].

<sup>e</sup> Une irradiation uniforme des tissus critiques de la glande thyroïde est supposée avoir une probabilité cinq fois plus forte de produire des effets déterministes sur la santé que l'exposition interne aux isotopes émetteurs bêta de faible énergie de l'iode comme <sup>131</sup>I, <sup>129</sup>I, <sup>125</sup>I, <sup>124</sup>I et <sup>123</sup>I [9]. Les radionucléides se fixant sur la thyroïde ont une répartition hétérogène dans les tissus de la thyroïde. L'iode 131 émet des particules bêta de faible énergie, ce qui engendre une efficacité réduite de l'irradiation des tissus critiques de la thyroïde à cause de la dissipation de l'énergie dans les autres tissus.

<sup>f</sup> Pour un tissu à la profondeur de 0,5 cm sous la surface de la peau et sur une superficie supérieure à 100 cm<sup>2</sup>, il y a des effets déterministes graves [8, 13].

## Appendice III

### VALEURS D POUR CERTAINS ISOTOPES

Ces informations sont reprises de la publication Catégorisation des sources radioactives de l'AIEA [1]. Dans cette publication et dans la documentation connexe [5], on considère deux types de valeurs D. Les valeurs D sont le niveau de radioactivité au-dessus duquel une source est considérée comme « dangereuse » et pouvant provoquer de graves effets déterministes si elle n'est pas gérée de manière sûre et sécurisée.

La valeur  $D_1$  est l'activité d'un radionucléide d'une source qui, si elle n'est pas contrôlée mais qu'elle n'est pas dispersée (c'est-à-dire qu'elle reste encapsulée), peut provoquer une urgence dont on peut raisonnablement s'attendre qu'elle entraîne des effets déterministes sur la santé.

La valeur  $D_2$  est l'activité d'un radionucléide d'une source qui, si elle n'est pas contrôlée et qu'elle est dispersée, peut provoquer une urgence dont on peut raisonnablement s'attendre qu'elle entraîne des effets déterministes sur la santé.

Les valeurs D recommandées sont alors les plus restrictives des valeurs  $D_1$  ou  $D_2$ .

Par souci de cohérence avec cette approche, deux jeux de valeurs D sont donnés dans le présent appendice. Pour le chapitre 2, où le critère se rapporte à des matières dispersées, on utilise les valeurs  $D_2$  (tableau 21). Pour le chapitre 4, où le critère se rapporte à la défense en profondeur, on utilise les valeurs D générales (tableau 22).

#### III.1. VALEURS $D_2$ POUR LES RADIONUCLÉIDES À UTILISER AVEC LES CRITÈRES DU CHAPITRE 2

TABLEAU 21. VALEURS  $D_2$  POUR CERTAINS ISOTOPES

Radionucléide	$D_2$ (TBq)
Am-241	6.E-02
Am-241/Be	6.E-02
Au-198	3.E+01
Cd-109	3.E+01
Cf-252	1.E-02
Cm-244	5.E-02
Co-57	4.E+02
-----	

TABLEAU 21. VALEURS  $D_2$  POUR CERTAINS ISOTOPES (suite)

Radionucléide	$D_2$ (TBq)
Co-60	3.E+01
Cs-137	2.E+01
Fe-55	8.E+02
Gd-153	8.E+01
Ge-68	2.E+01
H-3	2.E+03
I-125	2.E-01
I-131	2.E-01
Ir-192	2.E+01
Kr-85	2.E+03
Mo-99	2.E+01
Ni-63	6.E+01
P-32	2.E+01
Pd-103	1.E+02
Pm-147	4.E+01
Po-210	6.E-02
Pu-238	6.E-02
Pu-239/Be	6.E-02
Ra-226	7.E-02
Ru-106(Rh-106)	1.E+01
Se-75	2.E+02
Sr-90(Y-90)	1.E+00
Tc-99 <sup>m</sup>	7.E+02
Tl-204	2.E+01
Tm-170	2.E+01
Yb-169	3.E+01

### III.2. VALEURS D POUR LES RADIONUCLÉIDES À UTILISER AVEC LES CRITÈRES DU CHAPITRE 4

TABLEAU 22. VALEURS D POUR CERTAINS ISOTOPES

Radionucléide	D (TBq)
Am-241	6.E-02
Am-241/Be	6.E-02
Au-198	2.E-01
Cd-109	2.E+01
Cf-252	2.E-02
Cm-244	5.E-02
Co-57	7.E-01
Co-60	3.E-02
Cs-137	1.E-01
Fe-55	8.E+02
Gd-153	1.E+00
Ge-68	7.E-01
H-3	2.E+03
I-125	2.E-01
I-131	2.E-01
Ir-192	8.E-02
Kr-85	3.E+01
Mo-99	3.E-01
Ni-63	6.E+01
P-32	1.E+01
Pd-103	9.E+01
Pm-147	4.E+01
Po-210	6.E-02
Pu-238	6.E-02
Pu-239/Be	6.E-02
Ra-226	4.E-02
Ru-106(Rh-106)	3.E-01
Se-75	2.E-01
Sr-90(Y-90)	1.E+00

TABLEAU 22. VALEURS D POUR CERTAINS ISOTOPES (suite)

Radionucléide	D (TBq)
Tc-99 <sup>m</sup>	7.E-01
Tl-204	2.E+01
Tm-170	2.E+01
Yb-169	3.E-01

### III.3. CALCUL DES VALEURS GLOBALES

Quand il y a plusieurs sources radioactives ou colis, il faut calculer une valeur D globale. En se fondant sur les indications de la publication Catégorisation des sources radioactives [1] et du Règlement de transport des matières radioactives [6], la valeur globale est calculée comme suit :

$$1/D = \sum f_i / D_i$$

où D est la valeur globale de D,  $f_i$  est la fraction de l'isotope i et  $D_i$  est la valeur D pour l'isotope i, ou

$$A/D = \sum A_i / D_i$$

où A est l'activité totale et  $A_i$  est l'activité de l'isotope.

## Appendice IV

### CATÉGORISATION DES SOURCES RADIOACTIVES UTILISÉES DANS DES PRATIQUES COURANTES

Ces informations sont reprises de la publication Catégorisation des sources radioactives de l'AIEA [1].

TABLEAU 23. CATÉGORISATION POUR QUELQUES PRATIQUES COURANTES

Catégorie	Pratiques courantes	Isotopes typiques
1	Générateurs thermoélectriques à radio-isotopes (GTR)	Sr-90, Pu-238
	Irradiateurs	Co-60, Cs-137
	Téléthérapie	Co-60, Cs-137
	Téléthérapie fixe à faisceaux multiples (scalpel gamma)	Co-60
2	Gammagraphie industrielle	Co-60, Se-75, Ir-192, Yb-169, Tm-170
	Curiethérapie à débit de dose élevé/moyen	Co-60, Cs-137, Ir-192
3	Jauges industrielles fixes :	
	Jauges de niveau	Co-60, Cs-137
	Jauges de drague	Co-60, Cs-137
	Jauges de convoyeur contenant des sources de haute activité	Cs-137, Cf-252
	Jauges de tuyau de filage	Cs-137
Jauges de diagraphie	Am-241/Be, Cs-137, Cf-252	
4	Curiethérapie à faible débit de dose (à l'exception des plaques oculaires et des implants permanents)	I-125, Cs-137, Ir-192, Au-198, Ra-226, Cf-252
	Jauges d'épaisseur ou de niveau	Kr-85, Sr-90, Cs-137, Am-241, Pm-147, Cm-244
	Jauges portables (comme les jauges d'humidité/de densité)	Cs-137, Ra-226, Am-241/Be, Cf-252
	Ostéodensitomètres	Cd-109, I-125, Gd-153, Am-241
	Éliminateurs d'électricité statique	Po-210, Am-241

TABLEAU 23. CATÉGORISATION POUR QUELQUES PRATIQUES COURANTES (suite)

Catégorie	Pratiques courantes	Isotopes typiques
5	Curiethérapie à faible débit de dose : plaques oculaires et implants permanents	Sr-90, Ru/Rh-106, Pd-103
	Générateurs de fluorescence X	Fe-55, Cd-109, Co-57
	Dispositifs de capture d'électrons	Ni-63, H-3
	Spectrométrie Mossbauer	Co-57
	Sources témoins utilisées pour la tomographie à émission de positons (PET)	Ge-68



## RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Catégorisation des sources radioactives, collection Normes de sûreté n° RS-G-1.9, AIEA, Vienne (2011).
- [2] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, INES : Échelle internationale des événements nucléaires, Manuel de l'utilisateur, Édition 2001, AIEA, Vienne (2001).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Rating of Transport and Radiation Source Events : Additional Guidance for the INES National Officers, Working Material, IAEA-INES WM 04/2006, IAEA, Vienna (2006).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Clarification for Fuel Damage Events, Working Material, IAEA-INES WM/03/2004, IAEA, Vienna (2004).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values), Emergency Preparedness and Response, EPR-D-Values-2006, IAEA, Vienna (2006).
- [6] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Règlement de transport des matières radioactives, Édition de 2009, collection Normes de sûreté n° TS-R-1, Vienne (2009).
- [7] GROUPE CONSULTATIF INTERNATIONAL POUR LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE, Culture de sûreté, collection Sécurité n° 75-INSAG-4, AIEA, Vienne (1991).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria : Interim Report for Comment, IAEA-TECDOC-1432, IAEA, Vienna (2006).
- [9] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Low LET Radiation, Rep. NUREG/CR-4214, Rev.1, Part II SAND85-7185, NRC, Washington, DC (1989).
- [10] HOPEWELL, J.W., Biological Effects of Irradiation on Skin and Recommendation Dose Limits, Radiat. Prot. Dosimetry **39**, 1/3 (1991) 11–24.
- [11] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The Biological Basis for Dose Limitation in the Skin, Publication 59, Ann ICRP **22**, 2, Pergamon Press, Oxford (1991).
- [12] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Dosimetry of External Beta Rays for Radiation Protection, ICRU Report 56, ICRU, Bethesda, MD (1996).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries, Safety Reports Series No. 2, IAEA, Vienna (1998).
- [14] 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).

- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, IAEA, Vienna (2000).
- [16] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Glossaire de sûreté de l'AIEA, Terminologie employée en sûreté nucléaire et en radioprotection, Édition 2007 (STI/PUB/1290), AIEA, Vienne, 2007.
- [17] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, La défense en profondeur en sûreté nucléaire, collection INSAG n° 10, AIEA, Vienne (1997).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, Safety Series No. 75-INSAG-3, IAEA, Vienna (1999).
- [19] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, AIEA/CODEOC/2004, AIEA, Vienne (2004).

## Annexe I

### DÉFENSE EN PROFONDEUR

On a souvent dit que la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires était assurée par trois fonctions de sûreté fondamentales :

- 1) Maîtrise de la réactivité ;
- 2) Refroidissement du combustible ;
- a) Confinement.

On peut généraliser cette affirmation à la sûreté de toute activité comportant l'utilisation de matières radioactives en disant que la sûreté d'exploitation est assurée par trois fonctions de sûreté fondamentales :

- 1) Maîtrise de la réactivité ou du déroulement des processus ;
- 2) Refroidissement des matières radioactives ;
- 3) Contrôle radiologique (confinement des matières radioactives et blindage, par exemple).

Pour certaines pratiques, ces fonctions de sûreté ne sont pas toutes pertinentes (par exemple, pour la radiographie industrielle, seule la troisième l'est).

Chacune des fonctions de sûreté est assurée par une bonne conception, une exploitation bien maîtrisée et un ensemble de systèmes et de contrôles administratifs. L'approche de la défense en profondeur est généralement appliquée à chacun de ces aspects et l'on tient compte de la possibilité de défaillances de matériel, d'erreurs humaines et d'apparition d'événements imprévus.

La défense en profondeur associe donc plusieurs éléments — conception prudente, assurance de la qualité, surveillance, mesures d'atténuation — et une culture générale de sûreté qui renforce les niveaux successifs.

La défense en profondeur est fondamentale dans la conception et l'exploitation des grandes installations nucléaires et radiologiques. Dans la publication « Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants » (collection Sécurité n° 75-INSAG-3 de l'AIEA [I-1]), il est dit :

« Pour parer aux erreurs humaines et défaillances mécaniques possibles, on applique un concept de défense en profondeur qui s'organise autour de niveaux multiples de protection comprenant des barrières successives qui empêchent le rejet de substances radioactives dans l'environnement. Le

concept inclut une protection des barrières qui prévient tout dommage tant à la centrale qu'aux barrières elles-mêmes. Il inclut dans son prolongement des mesures qui protégeraient des dommages la population et l'environnement dans le cas où ces barrières ne seraient pas pleinement efficaces.».

La défense en profondeur peut être envisagée de plusieurs façons. Par exemple, on peut considérer le nombre de barrières prévues pour éviter un rejet (combustible, gainage, cuve sous pression, confinement, etc.). On peut aussi tenir compte du nombre de systèmes qui devraient être défaillants avant qu'un accident ne puisse se produire (perte de réseau plus défaillance de tous les groupes diesels principaux, par exemple). C'est cette dernière approche qui est adoptée dans le cadre de la procédure de classement INES.

Pour la justification de la sûreté de l'installation, les systèmes d'exploitation peuvent être distingués des dispositions de sûreté. La défaillance de systèmes d'exploitation entraîne l'application de dispositions de sûreté supplémentaires de manière à conserver la fonction de sûreté. Ces dispositions de sûreté peuvent être des procédures, des contrôles administratifs ou des systèmes actifs ou passifs qui sont généralement redondants et dont la disponibilité est régie par les limites et conditions d'exploitation (LCE).

La fréquence de sollicitation de ces dispositions de sûreté est limitée par la qualité de la conception, de l'exploitation, de la maintenance et de la surveillance. Par exemple, la fréquence des défaillances du circuit primaire d'un réacteur, ou des cuves et canalisations principales d'une usine de retraitement, est diminuée par les marges de conception, le contrôle de la qualité, les contraintes d'exploitation et la surveillance. De même, la fréquence des transitoires d'un réacteur est diminuée par les procédures d'exploitation et les systèmes de contrôle du cœur. Les systèmes d'exploitation et de contrôle contribuent à réduire la fréquence de sollicitation des dispositions de sûreté.

La publication INSAG-10 [I-2] (rédigée depuis l'élaboration de l'INES) donne beaucoup plus de détails sur la mise en œuvre de la défense en profondeur dans la conception et l'exploitation et le tableau I-1 montre la façon dont les concepts décrits dans cette publication sont intégrés dans l'évaluation INES de la défense en profondeur.

## RÉFÉRENCES POUR L'ANNEXE I

- [I-1] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, Safety Series No. 75-INSAG-3, IAEA, Vienna (1999).
- [I-2] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, IAEA, Vienna (1996).

TABLEAU I-1. DÉFENSE EN PROFONDEUR DANS LA CONCEPTION ET L'EXPLOITATION

Objectif	Moyens de mise en œuvre	Traitement dans l'INES	
		Pour les réacteurs de puissance (Chapitre 5)	Pour les autres installations (Chapitre 6)
Prévention d'un fonctionnement anormal et de défaillances.	Prudence de conception et haute qualité de construction et d'exploitation.	Pris en compte en considérant la probabilité d'un initiateur.	Chaque système bien conçu est considéré comme une ou plusieurs lignes de défense.
Maîtrise d'un fonctionnement anormal et détection des défaillances.	Systèmes de commande, de limitation et de protection et autres dispositifs de surveillance.	Les dispositifs de contrôle et de surveillance sont pris en compte en considérant la probabilité d'un initiateur. Les systèmes de protection sont inclus comme systèmes de sûreté et donc pris en compte en considérant la disponibilité des fonctions de sûreté.	Considéré comme une ou plusieurs lignes de défense.
Maîtrise des accidents de référence.	Dispositifs de sauvegarde et procédures en cas d'accident.	Pris en compte en considérant la disponibilité des fonctions de sûreté.	Considéré comme une ou plusieurs lignes de défense.
Maîtrise des situations graves, y compris la prévention de l'aggravation des accidents et l'atténuation des conséquences des accidents graves.	Mesures complémentaires et gestion des accidents.	Pris en compte en considérant la disponibilité des fonctions de sûreté.	Considéré comme une ou plusieurs lignes de défense.

TABLEAU I-1. DÉFENSE EN PROFONDEUR DANS LA CONCEPTION ET L'EXPLOITATION (suite)

Objectif	Moyens de mise en œuvre	Traitement dans l'INES	
		Pour les réacteurs de puissance (Chapitre 5)	Pour les autres installations (Chapitre 6)
Atténuation des conséquences radiologiques des rejets importants de matières radioactives.	Mesures d'intervention hors site.	Pas considérées comme faisant partie de la défense en profondeur. Ces actions affectent les conséquences réelles comme expliqué dans les sections précédentes du manuel de l'utilisateur de l'INES.	Pas considérées comme faisant partie de la défense en profondeur. Ces actions affectent les conséquences réelles comme expliqué dans les sections précédentes du manuel de l'utilisateur de l'INES.

## Annexe II

### EXEMPLES D'INITIATEURS ET LEUR FRÉQUENCE

Chaque réacteur a sa propre liste et sa classification des initiateurs, établies dans le cadre de la justification de la sûreté. La présente annexe donne des exemples classiques d'initiateurs de référence, déjà utilisés pour les réacteurs de puissance et classés selon les catégories « Attendu », « Possible » et « Improbable ».

#### II-2. RÉACTEURS À EAU SOUS PRESSION (REP ET VVER)

##### II-1.1. Catégorie 1 « Attendu »

- Arrêt d'urgence du réacteur ;
- Dilution intempestive (contrôle chimique) ;
- Perte de circulation d'eau d'alimentation ;
- Dépressurisation du circuit primaire due au fonctionnement intempestif d'un composant actif (par exemple d'une vanne de sûreté ou de décharge) ;
- Dépressurisation intempestive du circuit primaire due à un refroidissement par le dispositif d'aspersion normal ou auxiliaire du pressuriseur ;
- Fuite dans le système de transformation de l'énergie qui n'empêcherait pas un arrêt et un refroidissement contrôlés du réacteur ;
- Fuite dans un tube de générateur de vapeur supérieure à ce que prévoient les spécifications techniques de la centrale mais inférieure à celle qui correspondrait à une rupture complète du tube ;
- Fuite dans le circuit de refroidissement du réacteur qui n'empêcherait pas un arrêt et un refroidissement contrôlés du réacteur ;
- Perte d'alimentation en CA par le réseau, y compris les perturbations de tension et de fréquence ;
- Fonctionnement avec un assemblage combustible mal orienté ou mal positionné ;
- Retrait intempestif de toute grappe de commande durant le rechargement ;
- Incident mineur de manutention du combustible ;
- Perte totale ou interruption de la circulation forcée du caloporteur, à l'exclusion du blocage du rotor d'une pompe primaire.

### II-1.2. Catégorie 2 « Possible »

- Petit accident de perte de caloporteur (APC) ;
- Rupture complète d'un tube de générateur de vapeur ;
- Chute d'un assemblage combustible usé ne concernant que cet assemblage ;
- Fuite dans la piscine d'entreposage, supérieure à la capacité d'appoint normale ;
- Décharge de caloporteur primaire par de multiples vannes de sûreté ou de décharge.

### II-1.3. Catégorie 3 « Improbable »

- APC majeur, jusques et y compris la rupture de canalisation justifiée la plus importante dans l'enveloppe de pression du circuit primaire ;
- Éjection d'une seule barre de commande ;
- Rupture de canalisation importante dans le système de transformation de l'énergie, jusques et y compris la rupture de canalisation justifiée la plus importante ;
- Chute d'un assemblage combustible usé sur d'autres assemblages combustibles usés.

## II-2. RÉACTEURS À EAU BOUILLANTE

### II-2.1. Catégorie 1 « Attendu »

- Arrêt d'urgence du réacteur ;
- Retrait intempestif d'une barre de commande lors du fonctionnement du réacteur en régime de puissance ;
- Perte de circulation d'eau d'alimentation ;
- Défaillance de la régulation de la pression du réacteur ;
- Fuite dans le circuit vapeur principal ;
- Fuite dans le circuit de refroidissement du réacteur qui n'empêcherait pas un arrêt et un refroidissement contrôlés du réacteur ;
- Perte d'alimentation en CA par le réseau, y compris les perturbations de tension et de fréquence ;
- Fonctionnement avec un assemblage combustible mal orienté ou mal positionné ;
- Retrait intempestif de toute grappe de commande durant le rechargement ;
- Incident mineur de manutention du combustible ;
- Perte de la circulation forcée du caloporteur.

## **II-2.2. Catégorie 2 « Possible »**

- Petit APC ;
- Rupture d'une canalisation vapeur principale ;
- Chute d'un assemblage combustible usé ne concernant que cet assemblage ;
- Fuite dans la piscine d'entreposage, supérieure à la capacité d'appoint normale ;
- Décharge de caloporteur primaire par de multiples vannes de sûreté ou de décharge.

## **II-2.3. Catégorie 3 « Improbable »**

- APC majeur, jusques et y compris la rupture de canalisation justifiée la plus importante dans l'enveloppe de pression du circuit primaire ;
- Chute d'une seule barre de commande ;
- Rupture importante de la canalisation vapeur principale ;
- Chute d'un assemblage combustible usé sur d'autres assemblages combustibles usés.

## **II-3. RÉACTEURS À EAU LOURDE SOUS PRESSION CANDU**

### **II-3.1. Catégorie 1 « Attendu »**

- Arrêt d'urgence du réacteur ;
- Dilution intempestive (contrôle chimique) ;
- Perte de circulation d'eau d'alimentation ;
- Perte de la régulation de la pression dans le circuit de refroidissement du réacteur (haute ou basse) due à la défaillance ou au fonctionnement intempestif d'un composant actif (par exemple d'une vanne d'injection, de soutirage ou de décharge) ;
- Fuite dans un tube de générateur de vapeur supérieure à ce que prévoient les spécifications techniques de la centrale mais inférieure à celle qui correspondrait à une rupture complète du tube ;
- Fuite dans le circuit de refroidissement du réacteur qui n'empêcherait pas un arrêt et un refroidissement contrôlés du réacteur ;
- Fuite dans le système de transformation de l'énergie qui n'empêcherait pas un arrêt et un refroidissement contrôlés du réacteur ;
- Perte d'alimentation en CA par le réseau, y compris les perturbations de tension et de fréquence ;

- Fonctionnement avec un ou plusieurs faisceaux de combustible mal positionnés ;
- Incident mineur de manutention du combustible ;
- Déclenchement d'une ou de plusieurs pompes primaires ;
- Perte d'eau d'alimentation d'un ou de plusieurs générateurs de vapeur ;
- Obstruction d'un canal (inférieure à 70 %) ;
- Perte du refroidissement du modérateur ;
- Perte de la commande par ordinateur ;
- Accroissement local non programmé de la réactivité.

### **II-3.2. Catégorie 2 « Possible »**

- Petit APC (y compris la rupture d'un tube de force) ;
- Rupture complète d'un tube de générateur de vapeur ;
- Décharge de caloporteur primaire par de multiples vannes de sûreté ou de décharge ;
- Endommagement du combustible irradié ou perte du refroidissement de la machine de manutention contenant du combustible irradié ;
- Fuite dans la piscine d'entreposage du combustible irradié, supérieure à la capacité d'appoint normale ;
- Rupture de canalisation d'eau d'alimentation ;
- Obstruction d'un canal (supérieure à 70 %) ;
- Défaillances du système de modération ;
- Perte du refroidissement des boucliers terminaux ;
- Défaillance du refroidissement à l'arrêt ;
- Augmentation massive non programmée de la réactivité ;
- Perte d'eau brute (eau brute basse ou haute pression ou eau de refroidissement recirculée) ;
- Perte de l'air comprimé d'instrumentation ;
- Perte de l'alimentation électrique interne (classe IV, III, II ou I).

### **II-3.3. Catégorie 3 « Improbable »**

- APC majeur, jusques et y compris la rupture de canalisation justifiée la plus importante dans l'enveloppe de pression du circuit primaire ;
- Rupture de canalisation importante dans le système de transformation de l'énergie, jusques et y compris la rupture de canalisation justifiée la plus importante.

## II-4. RÉACTEURS DE GRANDE PUISSANCE À TUBES DE FORCE (RBMK)

### II-4.1. Catégorie 1 « Attendu »

- Arrêt d'urgence du réacteur ;
- Dysfonctionnement du système de commande neutronique de la puissance du réacteur ;
- Perte de circulation d'eau d'alimentation ;
- Dépressurisation du circuit primaire due au fonctionnement intempestif d'un composant actif (par exemple d'une vanne de sûreté ou de décharge) ;
- Fuite dans le circuit primaire n'empêchant pas un arrêt d'urgence et un refroidissement normaux du réacteur ;
- Réduction de la circulation de caloporteur primaire dans un groupe de canaux de combustible et de canaux du système de protection du réacteur ;
- Réduction de la circulation du mélange gazeux à base d'hélium dans l'empilement de graphite du réacteur ;
- Perte de l'alimentation en CA par le réseau, y compris les perturbations de tension et de fréquence ;
- Fonctionnement avec un assemblage combustible mal orienté ou mal positionné ;
- Incident mineur de manutention du combustible ;
- Dépressurisation du canal de combustible au cours du rechargement.

### II-4.2. Catégorie 2 « Possible »

- Petit APC ;
- Chute d'un assemblage combustible usé ;
- Fuite dans la piscine d'entreposage, supérieure à la capacité d'appoint normale ;
- Fuite de caloporteur primaire par de multiples vannes de sûreté ou de décharge ;
- Rupture d'un canal de combustible ou d'un canal du système de protection du réacteur ;
- Perte de circulation d'eau dans un canal de combustible ;
- Perte de circulation d'eau dans le circuit de refroidissement du système de protection du réacteur ;
- Perte totale de circulation du mélange gazeux à base d'hélium dans l'empilement de graphite du réacteur ;
- Urgence au cours du fonctionnement de la machine de rechargement en marche ;

- Perte totale de l'alimentation électrique auxiliaire ;
- Apport non autorisé d'eau froide dans le réacteur en provenance du système de refroidissement de secours du cœur.

### **II-4.3. Catégorie 3 « Improbable »**

- APC majeur, jusques et y compris la rupture de canalisation justifiée la plus importante dans l'enveloppe de pression du circuit primaire ;
- Rupture de canalisation vapeur principale avant la vanne d'isolement du circuit principal de vapeur, y compris la rupture de canalisation justifiée la plus importante ;
- Chute d'un assemblage combustible usé sur d'autres assemblages combustibles usés ;
- Perte totale de la circulation d'eau brute ;
- Éjection d'un assemblage combustible du canal de combustible, y compris quand celui-ci se trouve dans la machine de rechargement.

## **II-5. RÉACTEURS REFROIDIS PAR UN GAZ**

### **II-5.1. Catégorie 1 « Attendu »**

- Arrêt d'urgence du réacteur ;
- Perte de circulation d'eau d'alimentation ;
- Très faible dépressurisation ;
- Fuite dans un tube d'échangeur de chaleur ;
- Perte d'alimentation en CA par le réseau, y compris les perturbations de tension et de fréquence ;
- Retrait intempestif d'une ou de plusieurs barres de commande ;
- Incident mineur de manutention du combustible ;
- Perte ou interruption partielle de la circulation forcée du caloporteur du réacteur.

### **II-5.2. Catégorie 2 « Possible »**

- Dépressurisation mineure ;
- Retrait intempestif d'un groupe de barres de commande ;
- Rupture complète d'un tube d'échangeur de chaleur ;
- Chute d'un faisceau de combustible dit stringer (réacteurs avancés seulement) ;

- Fermeture des inclineurs d'une soufflante (réacteurs avancés seulement) ;
- Défauts de fermeture des limiteurs de débit (réacteurs avancés seulement).

### **II-5.3. Catégorie 3 « Improbable »**

- Dépressurisation majeure ;
- Rupture de canalisation vapeur ;
- Rupture de canalisation d'alimentation.

### Annexe III

#### LISTE DES PAYS ET DES ORGANISATIONS PARTICIPANTS AFRIQUE DU SUD

Allemagne	Espagne
Arabie saoudite	États-Unis d'Amérique
Argentine	Fédération de Russie
Arménie	Finlande
Australie	France
Autriche	Grèce
Bangladesh	Guatemala
Bélarus	Hongrie
Belgique	Inde
Brésil	Iran, République islamique d'
Bulgarie	Irlande
Canada	Islande
Chili	Italie
Chine	Japon
Congo, République démocratique du	Kazakhstan
Corée, République de	Koweït
Costa Rica	L'ex-République yougoslave de Macédoine
Croatie	Liban
Danemark	Lituanie
Égypte	Luxembourg

Mexique  
Monténégro  
Norvège  
Pakistan  
Pays-Bas  
Pérou  
Pologne  
Portugal  
République arabe syrienne  
République tchèque  
Roumanie  
Royaume-Uni  
Slovaquie  
Slovénie  
Sri Lanka  
Suède  
Suisse  
Turquie  
Ukraine  
Vietnam

## **LIAISON INTERNATIONALE**

Commission européenne  
Forum atomique européen (FORATOM)  
Association mondiale des exploitants nucléaires  
Association nucléaire mondiale



## GLOSSAIRE

La présente section contient les définitions de termes ou expressions importants utilisés dans le manuel. Beaucoup d'entre elles sont reprises des Normes fondamentales de sûreté [14] et du Glossaire de sûreté de l'AIEA [16]. Dans de nombreux cas, des explications plus détaillées sont données dans le manuel.

**accident.** Dans le contexte de la notification et de l'analyse des événements, un accident est un événement qui a entraîné des conséquences importantes pour les personnes, l'environnement ou l'installation. Les exemples vont d'effets mortels à des personnes, aux gros rejets de radioactivité dans l'environnement, à la fusion du cœur d'un réacteur. Pour communiquer l'importance des événements au public, l'INES classe les événements selon sept niveaux et utilise le terme accident pour les événements classés au niveau 4 ou au-dessus. Les événements de moindre importance sont appelés incidents.

**Note :** Dans les analyses de sûreté et les normes de sûreté de l'AIEA, le terme « accident » est utilisé dans un sens bien plus général pour désigner « Tout événement involontaire, y compris les fausses manœuvres, les défaillances d'équipements ou d'autres anomalies, dont les conséquences réelles ou potentielles ne sont pas négligeables du point de vue de la protection ou de la sûreté » [14]. Par conséquent, des événements qui seraient considérés comme accidents selon la définition des normes de sûreté peuvent être des accidents ou des « incidents » dans la communication publique et la terminologie INES. Cette définition INES plus spécifique est utilisée pour aider le public à comprendre l'importance pour la sûreté.

**argumentaire de sûreté.** Ensemble d'arguments et d'éléments d'information relatifs à la sûreté d'une installation ou d'une activité.

**barrières radiologiques.** Barrières physiques qui confinent des matières radioactives et/ou protègent les personnes contre les rayonnements émanant de telles matières.

**classement de base.** Le classement avant la prise en considération des facteurs supplémentaires. Il est uniquement fondé sur l'importance des défaillances réelles des équipements ou des procédures administratives.

**colis.** L'emballage, avec son contenu radioactif, tel qu'il est présenté pour le transport. Il y a plusieurs types de colis :

- 1) Colis exceptés ;
- 2) Colis industriel du type 1 (type IP-1) ;
- 3) Colis industriel du type 2 (type IP-2) ;
- 4) Colis industriel du type 3 (type IP-3) ;
- 5) Colis du type A ;
- 6) Colis du type B(U) ;
- 7) Colis du type B(M) ;
- 8) Colis du type C.

Les spécifications et prescriptions détaillées concernant ces types de colis sont précisées dans le Règlement de transport [6].

**confinement.**

- 1) Prévention ou maîtrise des rejets de matières radioactives dans l'environnement en fonctionnement ou en cas d'accident [16].
- 2) Méthodes ou structures physiques destinées à éviter ou à maîtriser le rejet et la dispersion de matières radioactives [16].

**conséquences réelles.** Dans le manuel, l'expression désigne les conséquences classées selon les critères d'évaluation de l'impact sur la population et l'environnement, ainsi que sur les barrières et contrôles radiologiques dans les installations. À comparer aux événements classés selon les critères de dégradation de la défense en profondeur, qui sont ceux qui n'ont pas de conséquences réelles, mais où les mesures mises en place pour éviter les accidents ou y faire face n'ont pas fonctionné comme prévu.

**contrainte de dose.** Restriction prospective de la dose individuelle due à une source, qui sert de plafond de dose dans le processus d'optimisation de la protection et de la sûreté pour cette source [16].

**culture de sûreté.** Ensemble des caractéristiques et des attitudes qui, dans les organismes et chez les personnes, font que les questions de protection et sûreté bénéficient, en tant que priorité absolue, de l'attention qu'elles méritent en raison de leur importance [14].

**défaillance de cause commune.** Défaillance de plusieurs structures, systèmes ou composants due à un événement ou à une cause spécifique unique [16].

Ce peut être, par exemple, un défaut de conception ou de fabrication, une erreur d'exploitation ou de maintenance, un phénomène naturel, un

événement d'origine humaine, une saturation des signaux ou un effet de cascade involontaire résultant d'une autre opération ou défaillance à l'intérieur de la centrale ou d'une modification des conditions ambiantes.

**défense en profondeur.** Mise en place hiérarchisée de différents niveaux d'équipements et de procédures variés pour prévenir la multiplication des incidents de fonctionnement prévus et maintenir l'efficacité des barrières physiques placées entre une source de rayonnements ou des matières radioactives et les travailleurs, les personnes du public ou l'environnement [16].

Voir l'introduction des chapitres 4, 5 et 6, l'annexe I et le document INSAG-10 [17] pour plus d'informations.

**disponibilité d'un équipement.** Capacité d'accomplir la fonction requise de la manière prévue.

**disponibilité d'une fonction de sûreté.** La disponibilité d'une fonction de sûreté peut être *totale*, *le minimum exigé par les LCE*, *suffisante* ou *insuffisante* selon la disponibilité des divers systèmes et composants de sûreté individuels redondants.

**dispositions de sûreté.** Ces dispositions peuvent être des procédures, des contrôles administratifs ou des systèmes actifs ou passifs qui sont généralement redondants et dont la disponibilité est régie par les limites et conditions d'exploitation (LCE).

**dose.** Mesure de l'énergie déposée par un rayonnement dans une cible [16]. Quand le mot est utilisé dans une définition spécifique, il doit être précisé comme dans dose absorbée, dose efficace, irradiation du corps entier, dose pondérée selon l'EBR.

**dose absorbée.** Grandeur fondamentale D en dosimétrie, définie par la relation :

$$D = d\varepsilon/dm$$

où  $d\varepsilon$  est l'énergie moyenne transmise par le rayonnement ionisant à la matière dans un élément de volume et  $dm$  la masse de matière dans l'élément de volume. L'unité SI de dose absorbée est le joule par kilogramme ( $J \cdot kg^{-1}$ ), appelé gray (Gy) [14].

**dose absorbée pondérée selon l'EBR.** Produit de la dose absorbée dans un organe ou un tissu par l'efficacité biologique relative du rayonnement à l'origine de la dose :

$$AD_T = \sum_R D_T^R \times EBR_T^R;$$

où  $D_T^R$  est la dose à l'organe due au rayonnement R dans le tissu T, et  $RBE_T^R$  est l'efficacité biologique relative du rayonnement R à provoquer un effet spécifique sur un organe ou un tissu particulier T. L'unité de dose absorbée pondérée selon l'EBR est le  $J \cdot kg^{-1}$ , appelée équivalent-gray (Gy-Eq). La dose absorbée pondérée selon l'EBR prend en compte les différences d'efficacité biologique à produire des effets sanitaires déterministes dans les organes ou tissus de référence en fonction de la qualité du rayonnement [5].

**dose annuelle.** Dose due à l'exposition externe pendant une année plus la dose engagée résultant de l'incorporation de radionucléides pendant l'année en question [16].

**dose efficace.** Mesure de dose visant à rendre compte de l'ampleur du détriment radiologique pouvant résulter de la dose. Les valeurs de dose efficace peuvent être comparées directement pour tous les types de rayonnements et tous les modes d'exposition. Elle est définie comme la somme des produits des doses équivalentes aux tissus par leurs facteurs de pondération tissulaires respectifs :

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

où  $H_T$  est la dose équivalente au tissu T et  $w_T$  le facteur de pondération tissulaire pour le tissu T. D'après la définition de la dose équivalente, il s'ensuit que :

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

où  $w_R$  est le facteur de pondération radiologique pour le rayonnement R, et  $D_{T,R}$  la dose absorbée moyenne dans l'organe ou le tissu T [14].

L'unité de dose efficace est le Sievert (Sv), égal à 1 J/kg. Le rem, égal à 0,01 Sv, est parfois utilisé comme unité de dose équivalente et de dose efficace.

**dose équivalente.** Mesure de la dose au tissu ou à l'organe visant à rendre compte de l'ampleur du dommage causé. Les valeurs de dose équivalente à un tissu déterminé peuvent être comparées directement pour tous les types de rayonnements. Grandeur  $H_{T,R}$ , définie par la relation :

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

où  $D_{T,R}$  est la dose absorbée moyenne à l'organe ou au tissu T émise par le type de rayonnement R et  $w_R$  le facteur de pondération radiologique pour le type de rayonnement R. Lorsque le champ se compose de différents types de rayonnements ayant différentes valeurs de  $w_R$ , la dose équivalente est donnée par la relation :

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

L'unité de dose équivalente est le Sievert (Sv), égal à 1 J/kg. Le rem, égal à 0,01 Sv, est parfois utilisé comme unité de dose équivalente et de dose efficace.

**effet déterministe.** Effet sanitaire des rayonnements pour lequel il existe généralement un niveau de dose seuil au-dessus duquel la gravité de l'effet augmente avec la dose [14].

**Note :** Le niveau de dose seuil est fonction de l'effet sanitaire particulier mais peut également dépendre, dans une certaine mesure, de l'individu exposé. Les effets déterministes sont par exemple l'érythème et le syndrome d'irradiation aiguë (maladie des rayons).

**effet stochastique.** Effet sanitaire des rayonnements dont la probabilité est proportionnelle à la dose et dont la gravité est indépendante de la dose [16].

**Note :** Les effets stochastiques apparaissent généralement sans niveau de dose seuil. Ce sont par exemple diverses formes de cancer et de leucémie.

**événement.** Tout fait qui nécessite une notification à l'autorité de réglementation ou à l'exploitant ou une communication au public.

**exploitant.** Tout organisme ou toute personne qui a demandé ou obtenu une autorisation et/ou qui est responsable de la sûreté nucléaire, de la sûreté radiologique, de la sûreté des déchets radioactifs ou de la sûreté du transport lors de l'exécution d'activités ou en ce qui concerne toute installation nucléaire ou source de rayonnements ionisants. Il peut s'agir notamment de particuliers, d'organismes publics, d'expéditeurs ou de transporteurs, de titulaires d'autorisation, d'hôpitaux, de travailleurs indépendants, etc. [16].

**Note :** Il peut s'agir aussi soit de quiconque contrôle directement une installation ou une activité pendant l'utilisation (radiologues ou transporteurs, par exemple) soit, pour une source qui n'est pas sous contrôle (source perdue ou enlevée illicitement ou satellite rentrant dans l'atmosphère, par exemple), de quiconque était responsable de la source avant qu'elle n'échappe au contrôle.

**Note :** Synonyme d'organisme exploitant.

**exposition.** Action d'exposer ou fait d'être exposé à une irradiation [16].

**Note :** Le terme exposition ne doit pas être employé comme synonyme de dose. La dose est une mesure des effets de l'exposition.

**exposition externe.** Exposition à des rayonnements émis par une source se trouvant hors de l'organisme [16].

**exposition interne.** Exposition à des rayonnements émis par une source se trouvant dans l'organisme [16].

**facteurs supplémentaires.** Facteurs qui peuvent entraîner une augmentation du classement de base de l'événement. Les facteurs supplémentaires permettent de tenir compte des aspects de l'événement qui peuvent indiquer une dégradation plus poussée de la centrale ou de l'organisation de l'installation. Les facteurs à prendre en considération sont les défaillances de cause commune, l'inadéquation des procédures et les lacunes dans la culture de sûreté.

**fonctions de sûreté.** Les trois fonctions de sûreté de base sont : a) le contrôle de la réactivité ou du déroulement des processus ; b) le refroidissement des matières radioactives ; c) le confinement des matières radioactives.

**générateur de rayonnements.** Dispositif capable de produire des rayonnements, tels que rayons X, neutrons, électrons ou autres particules chargées, que l'on peut utiliser à des fins scientifiques, industrielles ou médicales [14].

**incident.** Dans le contexte de la notification et de l'analyse des événements, le mot incident sert à désigner des événements qui sont moins graves que les accidents. Pour communiquer l'importance des événements au public, l'INES classe les événements selon sept niveaux et utilise le terme incident pour les événements classés au niveau 3 ou au-dessous. Les événements de plus grande importance sont appelés accidents.

**initiateur (événement initiateur).** Un initiateur, ou événement initiateur, est un événement identifié dans l'analyse de sûreté qui entraîne un écart par rapport au fonctionnement normal et sollicite une ou plusieurs fonctions de sûreté.

**installations autorisées.** Installations pour lesquelles une forme spécifique d'autorisation a été donnée. Elles 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 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.

**ligne de défense.** Systèmes passifs, systèmes de sûreté déclenchés automatiquement ou manuellement, ou contrôles administratifs destinés à assurer l'accomplissement des fonctions de sûreté prescrites [16]. Une ligne de défense doit être considérée comme une disposition de sûreté qui ne peut pas être subdivisée en parties redondantes. Voir en section 6.2.2 la définition détaillée de l'utilisation de ce terme dans ce document.

**ligne de défense à haute intégrité.** Une ligne de défense à haute intégrité a toutes les caractéristiques suivantes :

- a) La ligne de défense est conçue pour pallier tous les défauts de conception pertinents et est identifiée explicitement ou implicitement dans la justification de sûreté de l'installation comme nécessitant un niveau particulièrement élevé de fiabilité ou d'intégrité ;
- b) L'intégrité de la ligne de défense est assurée par une surveillance ou une inspection appropriée permettant d'identifier toute dégradation de l'intégrité ;
- c) Si une dégradation de la ligne de défense est détectée, il existe des moyens évidents de faire face à l'événement et de mettre en œuvre des actions

correctives, soit par des procédures prédéterminées, soit par la longueur des délais impartis pour réparer ou atténuer le défaut.

**ligne de défense hautement fiable.** Dans certains cas, le temps imparti peut être tel qu'il existe toute une série de lignes de défense potentielles qui peuvent être rendues disponibles et qu'il n'a pas été jugé nécessaire, dans la justification de sûreté, d'identifier chacune d'elles en détail ni d'inclure dans la procédure le détail de la mise à disposition de chacune d'elles. Dans ces cas (en supposant qu'il y a des mesures pratiques qui peuvent être mises en œuvre), la longueur du temps imparti fournit une ligne de défense hautement fiable.

**limite autorisée.** Limite applicable à une grandeur mesurable (y compris la disponibilité des équipements) fixée ou expressément acceptée par l'organisme de réglementation (ces limites sont quelquefois établies à l'intérieur des LCE).

**limite de dose.** Valeur de la dose efficace ou de la dose équivalente à des individus résultant de pratiques sous contrôle qui ne doit pas être dépassée [14]. Il existe un certain nombre de limites qu'il faut toutes prendre en considération, dont la dose efficace au corps entier, les doses à la peau, les doses aux extrémités et les doses au cristallin.

**limites et conditions d'exploitation.** Ensemble des règles fixant les limites des paramètres, les possibilités fonctionnelles et les niveaux de performance des équipements et du personnel, et qui sont approuvées par l'organisme de réglementation pour le fonctionnement sûr d'une installation autorisée [16]. (Dans la plupart des pays, pour les centrales nucléaires, les LCE sont incluses dans les spécifications techniques.)

**matière fissile.**  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  ou toute combinaison de ces radionucléides. Ne sont pas inclus dans cette définition :

- a) l'uranium naturel ou l'uranium appauvri non irradiés, et
- b) l'uranium naturel ou l'uranium appauvri qui n'ont été irradiés que dans des réacteurs thermiques [16].

**matière radioactive.** Matière désignée en droit interne ou par un organisme de réglementation comme devant faire l'objet d'un contrôle réglementaire en raison de sa radioactivité.

**niveau d'investigation.** Valeur d'une grandeur, telle que *la dose efficace*, *l'incorporation*, ou *la contamination* par unité de volume ou de surface, à laquelle ou au-dessus de laquelle il faudrait procéder à une investigation.

**organisme exploitant.** Organisme qui a demandé ou obtenu une autorisation d'exploiter une installation autorisée et qui est responsable de sa sûreté.

**Note :** Dans la pratique, en ce qui concerne les installations autorisées, l'organisme exploitant est habituellement aussi le titulaire de licence ou le titulaire d'enregistrement.

Voir exploitant.

**personnel d'exploitation.** Travailleurs chargés d'assurer le fonctionnement d'une installation autorisée.

**pratique.** Toute activité humaine qui introduit des sources d'exposition ou des voies d'exposition supplémentaires, étend l'exposition à un plus grand nombre de personnes, ou modifie le réseau de voies d'exposition à partir de sources existantes, augmentant ainsi l'exposition ou la probabilité d'exposition de personnes, ou le nombre de personnes exposées [14].

**Note :** Des expressions telles que « pratique autorisée », « pratique sous contrôle » et « pratique réglementée » sont utilisées pour distinguer les pratiques qui sont soumises au contrôle réglementaire des autres activités qui répondent à la définition de pratique mais n'ont pas à être soumises au contrôle ou ne s'y prêtent pas.

**radiologique.** Adjectif se référant à la fois au rayonnement et à la contamination (en surface et dans l'atmosphère).

**source.** Tout ce qui peut provoquer une exposition à des rayonnements — par exemple par émission de rayonnements ionisants ou rejet de substances ou de matières radioactives — et peut être considéré comme une entité unique à des fins de protection et sûreté [16].

Ainsi, les matériaux émettant du radon sont des sources de l'environnement ; un irradiateur gamma de stérilisation est une source associée à la pratique de la radioconservation des denrées alimentaires ; un appareil à rayons X peut servir de source pour la pratique du radiodiagnostic ; une centrale nucléaire fait partie de la pratique de la production d'électricité par fission nucléaire et peut être considérée comme une source (par exemple pour ce qui est des rejets dans l'environnement) ou

un ensemble de sources (par exemple aux fins de la radioprotection professionnelle).

**source de rayonnements.** Générateur de rayonnements, source radioactive ou autres matières radioactives qui sont hors des cycles du combustible nucléaire des réacteurs de recherche et de puissance [16].

**source orpheline.** 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 [19].

**source radioactive.** Matière radioactive qui est enfermée d'une manière permanente dans une capsule ou fixée sous forme solide et qui n'est pas exemptée du contrôle réglementaire. Ce terme englobe également toute matière radioactive rejetée si la source radioactive fuit ou est brisée, mais pas les matières enfermées aux fins de stockage définitif, ni les matières nucléaires faisant partie du cycle du combustible de réacteurs de recherche et de puissance [19].

**systèmes de sûreté.** Systèmes importants pour la sûreté, installés pour remplir des fonctions de sûreté.

**travailleur.** Toute personne qui travaille à plein temps, à temps partiel ou temporairement pour le compte d'un employeur et à qui sont reconnus des droits et des devoirs en matière de radioprotection professionnelle. (Un travailleur indépendant est considéré comme ayant les devoirs à la fois d'un employeur et d'un travailleur.) [14]

**zone de service.** Les zones de service de l'installation sont les zones où les travailleurs ont accès sans permis spécial. Sont exclues les zones où des contrôles spécifiques sont nécessaires (au delà de l'utilisation générale d'un dosimètre personnel ou de combinaisons) à cause du niveau de contamination ou de rayonnement.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Illustration des dispositions de sûreté pour l'exemple 41 . . . . .	131
Figure 2.	Illustration des dispositions de sûreté pour les exemples 44 et 46 . . . . .	135
Figure 3.	Diagramme du système de refroidissement pour l'exemple 48 . . . . .	141
Figure 4.	Procédure générale de classement sur l'INES . . . . .	153
Figure 5.	Procédure de classement en fonction de l'impact sur la population et l'environnement . . . . .	154
Figure 6.	Procédure de classement en fonction de l'impact sur les barrières et contrôles radiologiques dans les installations . . . . .	155
Figure 7.	Procédure générale de classement en fonction de l'impact sur la défense en profondeur . . . . .	156
Figure 8.	Procédure de classement de l'impact sur la défense en profondeur pour les événements liés au transport et aux sources de rayonnements . . . . .	157
Figure 9.	Procédure de classement en fonction de l'impact sur la défense en profondeur pour les réacteurs de puissance en fonctionnement . . . . .	158
Figure 10.	Procédure de classement en fonction de l'impact sur la défense en profondeur pour les installations du cycle du combustible, les réacteurs de recherche, les accélérateurs ou les installations contenant des sources de catégorie 1, et les réacteurs à l'arrêt . . . . .	159



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Critères généraux de classement des événements . . . . .	3
Tableau 2.	Équivalence radiologique par rapport à <sup>131</sup> I pour les rejets atmosphériques . . . . .	17
Tableau 3.	Résumé du classement selon les doses aux personnes . . . . .	23
Tableau 4.	Équivalence radiologique pour la contamination des installations . . . . .	37
Tableau 5.	Relation entre le rapport A/D, la catégorie de la source, les conséquences potentielles maximales et le classement sous l'angle de la défense en profondeur. . . . .	47
Tableau 6.	Classement d'événements concernant des sources radioactives, des appareils ou des colis, perdus ou trouvés . . . . .	52
Tableau 7.	Classement d'événements comportant une dégradation de dispositions de sûreté . . . . .	53
Tableau 8.	Classement des autres événements liés à la sûreté . . . . .	57
Tableau 9.	Événements avec initiateur réel. . . . .	79
Tableau 10.	Événements sans initiateur réel . . . . .	82
Tableau 11.	Classement des événements en utilisant « l'approche lignes de défense » . . . . .	117
Tableau 12.	Exemples illustrant les critères de l'INES pour le classement d'événements survenant dans des installations nucléaires . . . . .	160
Tableau 13.	Exemples illustrant les critères de l'INES pour le classement d'événements concernant les sources de rayonnements et le transport . . . . .	161
Tableau 14.	Facteurs pour une contamination de l'installation (inhalation uniquement). . . . .	165
Tableau 15.	Rejets dans l'air : doses dues au dépôt au sol et à l'inhalation . . . . .	166
Tableau 16.	Équivalences radiologiques . . . . .	167
Tableau 17.	Probabilité d'effets déterministes létaux par surexposition. . . . .	169
Tableau 18.	Niveaux de seuil de dose pondérée selon l'EBR pour une exposition externe. . . . .	169
Tableau 19.	Niveaux de seuil de dose engagée pondérée selon l'EBR pour une exposition interne . . . . .	170
Tableau 20.	EBR utilisées pour les effets déterministes graves sur la santé . . . . .	171
Tableau 21.	Valeurs D <sub>2</sub> pour certains isotopes . . . . .	172
Tableau 22.	Valeurs D pour certains isotopes . . . . .	174
Tableau 23.	Catégorisation pour quelques pratiques courantes . . . . .	176



## LISTE DES EXEMPLES

Exemple 1.	Surexposition d'un électricien dans un hôpital — Niveau 2. ....	24
Exemple 2.	Surexposition d'un technicien de radiographie — Niveau 2. ....	25
Exemple 3.	Surexposition d'un technicien de radiographie industrielle — Niveau 3. ....	26
Exemple 4.	Rupture d'une source hautement radioactive abandonnée — Niveau 5. ....	27
Exemple 5.	Rejet d'iode 131 depuis un réacteur — Niveau 5. ....	28
Exemple 6.	Surchauffe d'un réservoir d'entreposage de déchets dans une installation de retraitement — Niveau 6. ....	29
Exemple 7.	Rejet majeur d'activité suite à un accident de criticité et un incendie — Niveau 7. ....	30
Exemple 8.	Événement dans un laboratoire produisant des sources radioactives — En dessous de l'échelle/niveau 0. ....	38
Exemple 9.	Endommagement du combustible dans un réacteur — En dessous de l'échelle/niveau 0. ....	39
Exemple 10.	Déversement de liquide contaminé par du plutonium sur le sol d'un laboratoire — Niveau 2. ....	40
Exemple 11.	Absorption de plutonium dans une installation de retraitement — Niveau 2. ....	40
Exemple 12.	Évacuation à proximité d'une centrale nucléaire — Niveau 4. ....	41
Exemple 13.	Fusion du cœur d'un réacteur — Niveau 5. ....	42
Exemple 14.	Détachement et récupération d'une source de radiographie industrielle — En dessous de l'échelle/niveau 0. ....	58
Exemple 15.	Déraillement d'un train transportant du combustible utilisé — En dessous de l'échelle/niveau 0. ....	59
Exemple 16.	Colis endommagé par un chariot élévateur — En dessous de l'échelle/niveau 0. ....	60
Exemple 17.	Vol d'une source de radiographie industrielle — Niveau 1. . .	61
Exemple 18.	Découverte de plusieurs sources dans des déchets métalliques — Niveau 1. ....	61
Exemple 19.	Perte d'un densimètre — Niveau 1. ....	62
Exemple 20.	Vol d'une source radioactive pendant le transport — Niveau 1. ....	63
Exemple 21.	Déversement de matière radioactive dans un service de médecine nucléaire — Niveau 1. ....	64

Exemple 22.	Collision ferroviaire mettant en jeu des colis de matières radioactives — Niveau 1 . . . . .	65
Exemple 23.	Découverte de matières nucléaires dans des conteneurs de transport supposés vides — Niveau 1 . . . . .	66
Exemple 24.	Dose suspecte enregistrée par un dosimètre photographique — Niveau 1 . . . . .	67
Exemple 25.	Fonte d'une source orpheline — Niveau 2 . . . . .	69
Exemple 26.	Perte d'une source de radiothérapie de forte activité — Niveau 3 . . . . .	69
Exemple 27.	Arrêt d'urgence du réacteur à la suite d'une chute de grappes de commande — En dessous de l'échelle/niveau 0 . . . . .	89
Exemple 28.	Fuite de caloporteur primaire lors d'un rechargement en régime de puissance — Niveau 1 . . . . .	90
Exemple 29.	Indisponibilité du dispositif d'aspersion de l'enceinte de confinement due au maintien de vanes en position fermée — Niveau 1 . . . . .	91
Exemple 30.	Fuite d'eau du circuit primaire par le disque de rupture du réservoir de décharge du pressuriseur — Niveau 1 . . . . .	92
Exemple 31.	Chute d'un assemblage combustible lors du rechargement — Niveau 1 . . . . .	94
Exemple 32.	Étalonnage incorrect des détecteurs régionaux de surpuissance — Niveau 1 . . . . .	95
Exemple 33.	Défaillance d'une voie de sûreté lors d'essais périodiques — Niveau 1 . . . . .	96
Exemple 34.	La conception de la centrale en cas d'inondation pourrait ne pas atténuer les conséquences de défaillances des canalisations — Niveau 1 . . . . .	97
Exemple 35.	Deux générateurs diesel de secours n'ont pas démarré après une perte de réseau — Niveau 2 . . . . .	98
Exemple 36.	Perte de circulation forcée du gaz pendant 15 à 20 minutes — Niveau 2 . . . . .	100
Exemple 37.	Petite fuite du circuit primaire — Niveau 2 . . . . .	102
Exemple 38.	Blocage partiel de la prise d'eau par temps froid — Niveau 3 . . . . .	103
Exemple 39.	Arrêt d'urgence du réacteur provoqué par des perturbations de réseau dues à une tornade — Niveau 3 . . . . .	105
Exemple 40.	Perte totale de réseau de la centrale en raison d'un incendie dans le bâtiment des turbines — Niveau 3 . . . . .	106

Exemple 41.	Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une augmentation de la pression du caloporteur — En dessous de l'échelle/niveau 0 . . . . .	130
Exemple 42.	Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une activation intempestive des détecteurs de pression — En dessous de l'échelle/niveau 0 . . . . .	132
Exemple 43.	Perte complète du refroidissement à l'arrêt — Niveau 1 . . . . .	133
Exemple 44.	Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une augmentation de la pression du caloporteur — Niveau 2 . . . . .	135
Exemple 45.	Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une activation intempestive des détecteurs de pression — Niveau 3 . . . . .	136
Exemple 46.	Perte de refroidissement à l'arrêt à cause d'une augmentation de la pression du caloporteur — Niveau 3 . . . . .	138
Exemple 47.	Augmentation de pression du volume libre au-dessus du niveau du liquide dans une cuve de dissolution d'éléments combustibles — En dessous de l'échelle/niveau 0 . . . . .	138
Exemple 48.	Perte de refroidissement dans un petit réacteur de recherche — En dessous de l'échelle/niveau 0 . . . . .	139
Exemple 49.	Niveau d'irradiation élevé dans une installation de retraitement — En dessous de l'échelle/niveau 0 . . . . .	141
Exemple 50.	Un travailleur a reçu une dose cumulée au corps entier supérieure à la limite de dose — Niveau 1 . . . . .	143
Exemple 51.	Défaillance de la maîtrise de la criticité — Niveau 1 . . . . .	144
Exemple 52.	Perte prolongée de ventilation dans une installation de fabrication de combustible — Niveau 1 . . . . .	145
Exemple 53.	Défaillance du dispositif de verrouillage de portes blindées — Niveau 2 . . . . .	146
Exemple 54.	Excursion de puissance dans un réacteur de recherche pendant le chargement de combustible — Niveau 2 . . . . .	148
Exemple 55.	Approche d'une masse critique dans une installation de retraitement — Niveau 2 . . . . .	149



## PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN DU TEXTE

### MEMBRES DU COMITÉ CONSULTATIF INES (au 30 juin 2008)

Abe, K.	Organisation japonaise de sûreté de l'énergie nucléaire (Japon)
Dos Santos, R.	Commission nationale de l'énergie nucléaire, Instituto de Radioprotecao e Dosimetria (Brésil)
Gauvain, J.	Agence pour l'énergie nucléaire ( <i>liaison AEN</i> ) Organisation de coopération et de développement économiques
Jones, C.G.	Commission de la réglementation nucléaire (États-Unis d'Amérique)
Jouve, A.	Autorité de sûreté nucléaire (France)
Ramirez, M.L.	Consejo de Seguridad Nuclear (Espagne)
Sharma, S.K.	Département de l'énergie atomique (Inde)
Spiegelberg Planer, R. ( <i>Coordonnateur INES de l'AIEA</i> )	Agence internationale de l'énergie atomique
Stott, A.K.	Eskom Holding Limited (Afrique du Sud)
van Iddekinge, F.	Ministère du logement, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (Pays-Bas)
Vlahov, N.	Agence de réglementation nucléaire (Bulgarie)
Woodcock, C.	Sellafield Ltd. (Royaume-Uni)

### RESPONSABLES NATIONAUX INES (AU 30 JUIN 2008)

Agapov, A.M.	Ministère russe de l'énergie atomique (Fédération de Russie)
Al-Suleiman, K.M.	Cité des sciences et de la technologie Roi Abdulaziz (Arabie saoudite)

Ananenko, A.	Comité national ukrainien de réglementation nucléaire (Ukraine)
Assi, M.	Commission de l'énergie atomique (Liban)
Basaez Pizarro, H.	Comisión Chilena de Energía Nuclear (Chili)
Belamaric, N.	Bureau national de radioprotection (Croatie)
Bermudez Jimenez, L.A.	Comisión de Energía Atómica (Costa Rica)
Breuskin, P.	Ministère de la santé (Luxembourg)
Cao, S.	Autorité chinoise de l'énergie atomique (Chine)
Chande, S.K.	Office de réglementation de l'énergie atomique (Inde)
Ciurea-Ercau, C.M.	Commission nationale pour le contrôle des activités nucléaires (Roumanie)
Coenen, S.	Agence fédérale de contrôle nucléaire (Belgique)
Freire de Nave, D.Y.	Direction générale de l'énergie nucléaire (Guatemala)
Glazunov, A.	Centrale nucléaire d'Ignalina (Lituanie)
Gonzalez, V.	Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (Mexique)
Grimaldi, G.	Institut supérieur pour la protection et la recherche scientifique pour l'environnement (Italie)
Gulol, O. O.	Autorité turque de l'énergie atomique (Turquie)
Guterres, R.	Comissão Nuclear de Energia Nuclear (Brésil)
Heilbron, P.	Comissão Nuclear de Energia Nuclear (Brésil)
Hofer, P.	Ministère fédéral de l'agriculture, de la foresterie, de l'environnement et de la gestion de l'eau (Autriche)
Hornkjol, S.	Autorité norvégienne de radioprotection (Norvège)
Huang, F.	Institut de recherche sur l'électronucléaire (Chine)

Isasia González, R.	Consejo de Seguridad Nuclear (Espagne)
Jones, R.	Direction de la sûreté nucléaire (Royaume-Uni)
Jones, C.G.	Commission de la réglementation nucléaire (États-Unis d'Amérique)
Jouve, A.	Autorité de sûreté nucléaire (France)
Jovanovic, S.	Université du Monténégro, Faculté des sciences (Monténégro)
Kampmann, D.	Agence danoise de gestion des situations d'urgence (Danemark)
Kim, S.	Ministère de la science et de la technologie (République de Corée)
Koskiniemi, T.	Centre de radioprotection et de sûreté nucléaire (Finlande)
Larsson, N.	Autorité suédoise de sûreté radiologique (Suède)
Lavalle Heilbron, P.F.	Comissão Nacional de Energia Nuclear (Brésil)
Linhart, O.	Autorité nationale de sûreté nucléaire (République tchèque)
Linsenmaier, B.	Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (Suisse)
Maltezos, A.	Commission grecque de l'énergie atomique (Grèce)
Malu wa Kalenga	Commissariat général à l'énergie atomique (République démocratique du Congo)
Mansoor, F.	Commission pakistanaise de l'énergie atomique (Pakistan)
Maqua, M.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (Allemagne)
Melkumyan, A.	Autorité arménienne de réglementation nucléaire (Arménie)

Metke, E.	Autorité slovaque de réglementation nucléaire (Slovaquie)
Morishita, Y.	Agence de sûreté nucléaire et industrielle (Japon)
Mottl, V.	Agence australienne pour la protection radiologique et la sûreté nucléaire (Australie)
Muller, A.	Autorité nationale de réglementation nucléaire (Afrique du Sud)
Nemec, T.	Administration slovène de sûreté nucléaire (Slovénie)
Nhi Dien, N.	Institut de recherche nucléaire (Vietnam)
Nyisztor, D.	Autorité hongroise de l'énergie atomique (Hongrie)
Oliveira Martins, J.	Agência Portuguesa do Ambiente ( Portugal)
Palsson, S.E.	Institut islandais de radioprotection (Islande)
Perez, S.	Autoridad Regulatoria Nuclear (Argentine)
Pollard, D.	Institut irlandais de protection radiologique (Irlande)
Popov, B.	Institut des questions énergétiques de l'Académie des sciences (Biélorus)
Rahman, M.	Commission de l'énergie atomique du Bangladesh (Bangladesh)
Ramirez, R.	Instituto Peruano de Energía Nuclear (Pérou)
Rashad, S.	Autorité de l'énergie atomique (Égypte)
Ragheb, H.	Commission canadienne de sûreté nucléaire (Canada)
Rastkhah, N.	Organisation iranienne de l'énergie atomique (République islamique d'Iran)
Sharipov, M.	Comité de l'énergie atomique (Kazakhstan)
Silva, W.A.P.	Autorité de l'énergie atomique (Sri Lanka)

Skarzewski, M.	Inspection nationale de la sûreté nucléaire et radiologique (Pologne)
Suman, H.	Commission de l'énergie atomique (République arabe syrienne)
Suyama, K.	Ministère de l'éducation, de la culture, des sports, des sciences et de la technologie (Japon)
Thielen, G.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (Allemagne)
Valcic, I.	Autorité nationale de sûreté nucléaire (Croatie)
van Iddekinge, F.	Ministère du logement, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (Pays-Bas)
Vinhas, L.	Comissão Nacional de Energia Nuclear (Brésil)
Vlahov, N.	Agence de réglementation nucléaire (Bulgarie)
Wild, V.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (Allemagne)
Yousef, S.	Ministère de la santé (Koweït)
Zhang, F.	Autorité chinoise de l'énergie atomique (Chine)
Zhuk, Y.	Institut russe de recherche pour l'exploitation des centrales nucléaires (Fédération de Russie)

#### ORGANISMES INTERNATIONAUX

O'Donovan, M.	Forum atomique européen
Tallebois, C.	Forum atomique européen
Welsh, G.	Association mondiale des exploitants nucléaires

## RÉVISEURS AIEA

Baciu, F.

Buglova, E.

Czarwinski, R.

Dodd, B. (*Consultant AIEA*)

Eklund, M.

Friedrich, V.

Mc Kenna, T.

Spiegelberg Planer, R.

Wangler, M.

Wheatley, J.

### **Réunions du comité technique**

Vienne (Autriche) : 1<sup>er</sup> au 4 juillet 2008

### **Réunions de consultants**

Le Cap (Afrique du Sud) : 9 au 13 octobre 2006

Vienne (Autriche) : 4 au 8 juin 2007, 10 au 21 septembre 2007, 18 au 22 février 2008

### **Réunions du Comité consultatif INES**

Vienne (Autriche) : 19 au 23 mars 2007, 17 au 20 mars 2008

L'Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques (INES) a été conçue en 1990 par un groupe d'experts réunis par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) pour communiquer sur l'importance des événements pour la sûreté. La présente édition du manuel de l'utilisateur de l'INES a été conçue pour faciliter la tâche de ceux qui doivent classer les événements selon leur importance pour la sûreté en utilisant cette échelle. Elle comprend de nouvelles indications et des précisions, et fournit des exemples et des commentaires basés sur l'utilisation continue de l'INES. Avec cette nouvelle édition, on espère que l'INES sera largement utilisée par les États Membres et deviendra l'échelle de référence mondiale permettant de mettre en perspective l'importance pour la sûreté de tout événement associé au transport, à l'entreposage et à l'utilisation de matières radioactives et de sources de rayonnements, que l'événement se produise dans une installation nucléaire ou non.