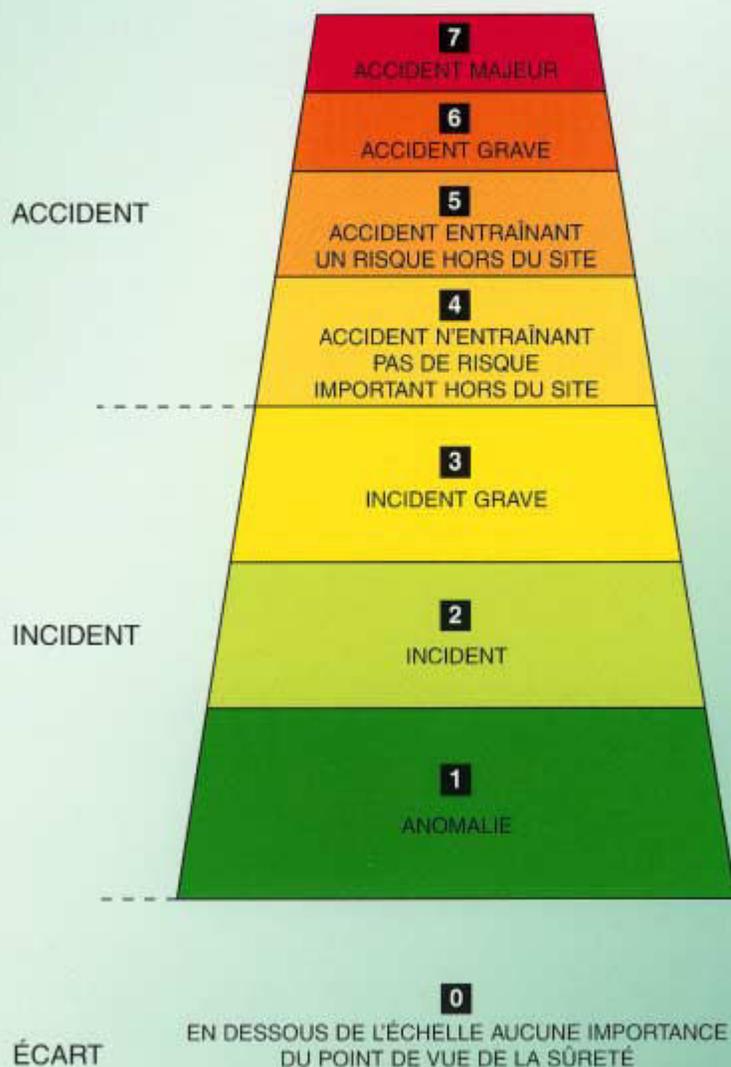


INES :

Échelle internationale des événements nucléaires

Manuel de l'utilisateur
Édition 2001



ÉTABLI CONJOINTEMENT PAR
L'AGENCE INTERNATIONALE
DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
et



L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

INES :
ÉCHELLE INTERNATIONALE
DES ÉVÉNEMENTS NUCLÉAIRES
MANUEL DE L'UTILISATEUR

ÉDITION 2001

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

INES :
ÉCHELLE INTERNATIONALE DES
ÉVÉNEMENTS NUCLÉAIRES
MANUEL DE L'UTILISATEUR

ÉDITION 2001

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, 2001

INES :
ÉCHELLE INTERNATIONALE
DES ÉVÉNEMENTS NUCLÉAIRES
MANUEL DE L'UTILISATEUR
ÉDITION 2001
AIEA, Vienne, 2001
IAEA-INES-2001

Imprimé par l'AIEA en Autriche
Décembre 2001

AVANT-PROPOS

L'Échelle internationale des événements nucléaires (INES) a été introduite conjointement en mars 1990 par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN/OCDE). Son but essentiel est de faciliter la communication et la compréhension entre la communauté nucléaire, les médias et le public au sujet de l'importance, pour la sûreté, des événements se produisant dans des installations nucléaires. L'échelle a été ajustée en 1992 à la lumière de l'expérience acquise et élargie pour pouvoir être appliquée à tous les événements associés aux matières radioactives et/ou aux rayonnements, y compris le transport des matières radioactives.

La présente édition du manuel de l'utilisateur INES intègre l'expérience acquise lors de l'application de l'édition de 1992 et du document d'explication des problèmes soulevés. En tant que telle, elle remplace ces publications antérieures. Elle ne modifie pas la base technique de la procédure de classement, mais devrait faciliter la tâche de ceux qui doivent évaluer l'importance pour la sûreté de ces événements en recourant à l'échelle INES.

Le réseau de communication INES reçoit et transmet actuellement des informations sur les événements nucléaires aux responsables nationaux INES de 60 États Membres à l'aide de formulaires de classement spéciaux qui présentent des informations officielles sur les événements, y compris leur classement. Le processus de communication INES a conduit chaque pays participant à élaborer un réseau interne qui permet de communiquer et de classer promptement tous les événements, qu'ils aient été signalés à l'extérieur ou à l'intérieur du pays.

L'AIEA encourage l'emploi de l'échelle par le biais d'activités de formation.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE	PRÉSENTATION SUCCINCTE	1
I-1.	INTRODUCTION	1
I-1.1.	Généralités	1
I-1.2.	Description générale de l'échelle	1
I-1.3.	Champ d'application de l'échelle	3
I-1.4.	Utilisation de l'échelle	3
I-1.5.	Exemples d'événements nucléaires classés	5
I-1.6.	Structure du manuel	7
PARTIE II.	PROCÉDURE DE CLASSEMENT ET NOTIFICATION DES ÉVÉNEMENTS À L'AIEA	8
II-1.	PROCÉDURE DE CLASSEMENT	8
II-2.	NOTIFICATION D'ÉVÉNEMENTS AU SERVICE D'INFORMATION DE L'AIEA	8
PARTIE III.	INCIDENCES HORS DU SITE ET SUR LE SITE	18
III-1.	INCIDENCES HORS DU SITE	18
III-1.1.	Description générale	18
III-1.2.	Définition des niveaux	19
III-1.3.	Calcul de l'équivalence radiologique et de la dose	21
III-2.	INCIDENCES SUR LE SITE	21
III-2.1.	Description générale	21
III-2.2.	Définition des niveaux	23
III-2.3.	Calcul de l'équivalence radiologique	25
PARTIE IV.	INCIDENCES SUR LA DÉFENSE EN PROFONDEUR	26
IV-1.	GÉNÉRALITÉS	26

IV-2. PRINCIPES GÉNÉRAUX POUR LE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS	27
IV-3. INDICATIONS DÉTAILLÉES POUR LE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS	29
IV-3.1. Identification des conséquences potentielles maximales ...	29
IV-3.2. Identification du classement de base compte tenu de l'efficacité des dispositions de sûreté	31
IV-3.3. Prise en compte des facteurs supplémentaires	41
IV-4. DÉFINITIONS	44
 PARTIE V. EXEMPLES ILLUSTRANT LES INDICATIONS POUR LE CLASSEMENT SOUS L'ANGLE DE LA DÉFENSE EN PROFONDEUR	 47
V-1. INDICATIONS CONCERNANT L'UTILISATION DE L'APPROCHE "LIGNES DE DÉFENSE" POUR DES TYPES PRÉCIS D'ÉVÉNEMENTS	47
V-1.1. Contrôle de criticité	47
V-1.2. Perte ou enlèvement de sources radioactives	48
V-1.3. Rejet non autorisé/dissémination de la contamination	48
V-1.4. Surveillance dosimétrique	49
V-1.5. Verrouillage des portes des casemates	49
V-1.6. Défaillances des systèmes de régulation de pression, de filtration et d'épuration	50
V-1.7. Incidents de manutention et chute de charges lourdes	50
V-1.8. Perte de l'alimentation électrique	52
V-1.9. Incendies et explosions	52
V-1.10. Risques extérieurs	53
V-1.11. Événements durant le transport	53
V-1.12. Défaillances dans les systèmes de refroidissement	54
 V-2. EXEMPLES ILLUSTRANT L'APPLICATION DE L'APPROCHE "LIGNES DE DÉFENSE"	 56
V-3. EXEMPLES TRAITÉS SUR LA BASE D'ÉVÉNEMENTS RÉELS ...	62
V-3.1. Exemples de l'approche "initiateur"	62
Exemple 1 : Arrêt d'urgence du réacteur à la suite d'une chute de barres de commande - niveau 0	62

	Exemple 2 : Fuite de fluide de refroidissement primaire lors d'un rechargement en régime de puissance - niveau 1 . . .	63
	Exemple 3 : Indisponibilité du dispositif d'aspersion de l'enceinte de confinement due au maintien de vannes en position fermée – niveau 1	63
	Exemple 4 : Fuite d'eau dans le circuit primaire par le disque de rupture du réservoir de décharge du pressuriseur – niveau 1	64
	Exemple 5 : Perte de circulation forcée du gaz pendant 15 à 20 minutes – niveau 2	66
	Exemple 6 : Chute d'un assemblage combustible lors du rechargement – niveau 1	67
	Exemple 7 : Obstruction partielle de la prise d'eau d'une tranche et perte de réseau de la tranche jumelle en période de froid – niveau 3	68
	Exemple 8 : Étalonnage incorrect des détecteurs régionaux de surpuissance – niveau 1	69
	Exemple 9 : Défaillance d'une voie de sûreté lors d'essais périodiques – niveau 1	70
	Exemple 10 : Petite fuite du circuit primaire – niveau 2	71
	Exemple 11 : Arrêt d'urgence du réacteur provoqué par des perturbations de réseau dues à une tornade – niveau 3 . . .	71
	Exemple 12 : Perte de réseau de la centrale en raison d'un incendie dans le bâtiment des turbines – niveau 3	72
V-3.2.	Exemples de l'approche "lignes de défense"	73
	Exemple 13 : Mise sous pression du volume libre de la cuve d'un dissolvant d'éléments combustibles – niveau 0	73
	Exemple 14 : Un travailleur a reçu une dose cumulative à l'organisme entier supérieure à la limite de dose – niveau 1	74
	Exemple 15 : Défaillance du système de verrouillage des portes blindées – niveau 2	74
	Exemple 16 : Défaillance du contrôle de criticité – niveau 1	75
	Exemple 17 : Perte prolongée de ventilation dans une installation de fabrication de combustible – niveau 1	76
	Exemple 18 : Perte de ventilation dans une installation d'entreposage de produits de fission – niveau 1	77
	Exemple 19 : Perte d'une source scellée – niveau 2	79
	Exemple 20 : Déversement de liquide contaminé par du plutonium sur le sol d'un laboratoire – niveau 2	79

Exemple 21 : Découverte de matières nucléaires dans des conteneurs de transport supposés vides - niveau 1	80
Exemple 22 : Perte complète du refroidissement à l'arrêt – niveau 1	81
Exemple 23 : Excursion de puissance dans un réacteur de recherche pendant le chargement de combustible – niveau 2	82
PARTIE VI. APPENDICES	83
APPENDICE I : CALCUL DE L'EQUIVALENCE RADIOLOGIQUE	83
APPENDICE II : VUE D'ENSEMBLE DE LA PROCÉDURE POUR LE CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS CONCERNANT DES RÉACTEURS EN RÉGIME DE PUISSANCE SOUS L'ANGLE DE LA DÉFENSE EN PROFONDEUR	90
APPENDICE III : UTILISATION DES TABLEAUX POUR LE CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS CONCERNANT DES RÉACTEURS EN RÉGIME DE PUISSANCE (SECTION IV-3.2.1)	92
APPENDICE IV : EXEMPLES D'INITIATEURS	95
APPENDICE V : CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS IMPLIQUANT UNE TRANSGRESSION DES LIMITES ET CONDITIONS D'EXPLOITATION	101
APPENDICE VI : LISTE DES PAYS ET DES ORGANISATIONS PARTICIPANTS	102

PREMIÈRE PARTIE

PRÉSENTATION SUCCINCTE

I-1. INTRODUCTION

I-1.1. Généralités

L'Échelle internationale des événements nucléaires (INES) est un moyen d'informer le public rapidement et de façon cohérente sur l'importance pour la sûreté des événements survenus dans des installations nucléaires et notifiés. En replaçant ces événements dans une juste perspective, cette échelle peut faciliter la compréhension mutuelle entre la communauté nucléaire, les médias et le public.

L'échelle a été conçue par un groupe international d'experts réunis conjointement par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE). Elle tient compte en outre des enseignements tirés de l'emploi d'échelles analogues en France et au Japon et de l'étude d'échelles envisagées dans plusieurs autres pays.

À l'origine, l'échelle a été appliquée pendant une période d'essai pour classer les événements survenant dans des centrales nucléaires, puis étendue et adaptée de manière à pouvoir être appliquée à toutes les installations associées à l'industrie nucléaire civile. À l'heure actuelle, elle est utilisée avec succès dans plus de 60 pays. La présente édition du manuel de l'utilisateur INES peut être appliquée à tout événement associé aux matières radioactives et/ou aux rayonnements et à tout événement qui se produit pendant le transport de matières radioactives.

I-1.2. Description générale de l'échelle

Les événements sont classés sur l'échelle selon sept niveaux. Les événements correspondant aux niveaux supérieurs (4 à 7) sont qualifiés d'accidents, et ceux correspondant aux niveaux inférieurs (1 à 3) d'incidents. Les événements qui n'ont aucune importance du point de vue de la sûreté sont classés au niveau 0 (en dessous de l'échelle) et sont qualifiés d'écarts. Les événements non pertinents du point de vue de la sûreté sont dits "hors échelle". La structure de l'échelle est représentée à la figure 1 sous la forme d'une matrice avec des mots clés donnant une indication générale de l'importance des événements. Chaque niveau est défini en détail dans les parties III et IV du présent manuel. Les événements sont considérés selon trois zones d'incidences différentes représentées par chacune des colonnes : incidences hors du site, incidences sur le site et incidences sur la défense en profondeur.

PREMIÈRE PARTIE

	ZONE D'INCIDENCE		
	INCIDENCES HORS DU SITE	INCIDENCES SUR LE SITE	DÉGRADATION DE LA DÉFENSE EN PROFONDEUR
7 ACCIDENT MAJEUR	REJET MAJEUR : EFFETS ÉTENDUS SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT		
6 ACCIDENT GRAVE	REJET IMPORTANT : SUSCEPTIBLE D'EXIGER L'APPLICATION INTÉGRALE DES CONTRE-MESURES PRÉVUES		
5 ACCIDENT ENTRAÎNANT UN RISQUE HORS DU SITE	REJET LIMITÉ : SUSCEPTIBLE D'EXIGER L'APPLICATION PARTIELLE DES CONTRE-MESURES	ENDOMMAGEMENT GRAVE DU COEUR DU RÉACTEUR/DÉS BARRIÈRES RADIOLOGIQUES	
4 ACCIDENT N'ENTRAÎNANT PAS DE RISQUE IMPORTANT HORS DU SITE	REJET MINEUR : EXPOSITION DU PUBLIC DE L'ORDRE DES LIMITES PRESCRITES	ENDOMMAGEMENT IMPORTANT DU COEUR DU RÉACTEUR/DÉS BARRIÈRES RADIOLOGIQUES/ EXPOSITION LÉTALE D'UN TRAVAILLEUR	
3 INCIDENT GRAVE	TRÈS FAIBLE REJET : EXPOSITION DU PUBLIC REPRÉSENTANT UNE FRACTION DES LIMITES PRESCRITES	CONTAMINATION GRAVE/ EFFETS AIGUS SUR LA SANTÉ D'UN TRAVAILLEUR	ACCIDENT ÉVITÉ DE PEU - PERTE DES LIGNES DE DÉFENSE
2 INCIDENT		CONTAMINATION IMPORTANTE/ SUREXPOSITION D'UN TRAVAILLEUR	INCIDENTS ASSORTIS DE DÉFAILLANCES IMPORTANTES DES DISPOSITIONS DE SÛRETÉ
1 ANOMALIE			ANOMALIE SORTANT DU RÉGIME DE FONCTIONNEMENT AUTORISÉ
0 ÉCART	AUCUNE IMPORTANCE DU POINT DE VUE DE LA SÛRETÉ		

Figure 1. Structure fondamentale de l'échelle (Les critères mentionnés dans la matrice ne constituent que des indicateurs généraux.)

La première colonne a trait aux événements entraînant des rejets radioactifs hors du site. Vu qu'il s'agit de la seule conséquence qui touche directement le public, ces rejets revêtent bien entendu une importance particulière. Ainsi, le point le plus bas dans cette colonne correspond à un rejet qui se traduirait, pour le groupe critique, par une dose estimative de rayonnements équivalant numériquement à un dixième environ de la limite annuelle de dose pour le public; cet événement est classé au niveau 3. Une telle dose correspond en outre généralement à un dixième environ de la dose annuelle moyenne imputable à l'exposition au fond naturel de rayonnement. Le niveau le plus élevé correspond à un accident nucléaire majeur ayant des conséquences étendues pour la santé et l'environnement.

Dans la deuxième colonne sont envisagées les incidences de l'événement sur le site. Cette catégorie englobe des événements allant du niveau 2 (contamination

importante et/ou surexposition d'un travailleur) au niveau 5 (endommagement grave du cœur du réacteur ou des barrières radiologiques).

Toutes les installations nucléaires sont conçues de telle façon que des lignes de défense successives empêchent toute incidence majeure sur le site ou hors du site, et le nombre prévu de ces lignes de défense est généralement en rapport avec les incidences potentielles sur le site et en dehors. Il faut que les lignes de défense soient toutes défailtantes avant qu'il ne puisse y avoir des conséquences notables hors du site ou sur le site. La mise en place de ces lignes de défense assure ce que l'on appelle la "défense en profondeur". La troisième colonne a trait aux incidents au cours desquels la défense en profondeur est dégradée. Cette colonne correspond à des incidents de niveau 1 à 3.

Un événement qui présente une incidence sur plusieurs zones est toujours classé au niveau le plus haut identifié. Les événements qui n'atteignent pas le seuil de l'une des trois zones sont classés en dessous de l'échelle au niveau 0. La figure 2 reproduit des descriptions types d'événements à chaque niveau ainsi que des exemples du classement d'événements nucléaires qui se sont produits dans le passé dans des installations nucléaires.

I-1.3. Champ d'application de l'échelle

L'échelle peut être appliquée à tout événement associé à des matières radioactives et/ou aux rayonnements et à tout événement se produisant pendant le transport de matières radioactives. Ne sont pas classés dans cette échelle les accidents industriels ou autres qui ne sont pas liés à des opérations nucléaires ou radiologiques. Ces événements sont dits "hors échelle". Par exemple, et bien que les événements associés à une turbine ou à un générateur peuvent avoir une incidence sur le matériel lié à la sûreté, les défaillances ne portant atteinte qu'à la disponibilité d'une turbine ou d'un générateur seraient classées "hors échelle". De la même manière, des événements majeurs tels des incendies seraient considérés comme "hors échelle" lorsqu'ils ne comportent aucun risque radiologique possible et n'ont pas d'effet sur les lignes de défense.

L'échelle ne s'applique pas aux contrôles prévus uniquement pour l'application des garanties aux matières fissiles. De la même manière, les écarts comptables concernant les matières fissiles (différence d'inventaire (DI)) seraient classés "hors échelle".

I-1.4. Utilisation de l'échelle

Bien qu'ils soient largement comparables, les critères de sûreté nucléaires et radiologiques ainsi que la terminologie utilisée pour les décrire varient d'un pays à l'autre. L'échelle internationale a été conçue pour tenir compte de ce fait, mais il est

PREMIÈRE PARTIE

NIVEAU/ DESCRIPTEUR	NATURE DES ÉVÉNEMENTS	EXEMPLES
7 ACCIDENT MAJEUR	<ul style="list-style-type: none"> Rejet à l'extérieur d'une fraction importante des matières radioactives contenues dans une grande installation (par exemple le cœur d'un réacteur de puissance). Il serait constitué généralement d'un mélange de produits de fission radioactifs à courte et à longue période (en quantités équivalant, du point de vue radiologique, à plus de quelques dizaines de milliers de téra becquerels d'iode 131). Un tel rejet pourrait entraîner des effets aigus sur la santé; des effets tardifs sur la santé dans une vaste zone pouvant s'étendre sur plusieurs pays; des conséquences à long terme pour l'environnement. 	Centrale de Tchernobyl, en URSS (maintenant en Ukraine), 1986
6 ACCIDENT GRAVE	<ul style="list-style-type: none"> Rejet à l'extérieur de matières radioactives (en quantités équivalant, du point de vue radiologique, à un rejet de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de téra becquerels d'iode 131). Un tel rejet serait susceptible d'entraîner l'application intégrale des contre-mesures prévues par les plans d'urgence locaux pour limiter les effets graves sur la santé. 	Usine de retraitement de Kyshtym, en URSS (maintenant en Russie), 1957
5 ACCIDENT ENTRAÎNANT UN RISQUE HORS DU SITE	<ul style="list-style-type: none"> Rejet à l'extérieur de matières radioactives (en quantités équivalant, du point de vue radiologique, à un rejet de l'ordre de quelques centaines à quelques milliers de téra becquerels d'iode 131). Un tel rejet serait susceptible d'entraîner l'application partielle des contre-mesures prévues par les plans d'urgence afin de réduire la probabilité d'effets sur la santé. Endommagement grave de l'installation nucléaire. Il peut s'agir d'un endommagement grave d'une grande partie du cœur d'un réacteur de puissance, d'un accident de criticité majeur ou d'un incendie ou d'une explosion importants entraînant le relâchement de grandes quantités de radioactivité à l'intérieur de l'installation. 	Pile de Windscale (Royaume-Uni), 1957 Centrale de Three Mile Island (États-Unis), 1979
4 ACCIDENT N'ENTRAÎNANT PAS DE RISQUE IMPORTANT HORS DU SITE	<ul style="list-style-type: none"> Rejet radioactif à l'extérieur entraînant, pour le groupe critique, une dose de l'ordre de quelques millisieverts*. Dans le cas d'un tel rejet, il est peu probable en général que des mesures de protection hors du site s'imposent, sauf peut-être pour le contrôle des aliments locaux. Endommagement important de l'installation nucléaire. Un tel accident pourrait comporter un endommagement d'une centrale nucléaire créant de graves problèmes de retour à la normale sur le site, tels qu'une fusion partielle du cœur dans un réacteur de puissance et des événements comparables dans des installations autres que les réacteurs. Irradiation d'un ou de plusieurs travailleurs se traduisant par une surexposition pour laquelle un décès précoce serait très probable. 	Usine de retraitement de Windscale (Royaume-Uni), 1973 Centrale de Saint-Laurent (France), 1980 Assemblage critique de Buenos Aires (Argentine), 1983
3 INCIDENT GRAVE	<ul style="list-style-type: none"> Rejet radioactif à l'extérieur supérieur aux limites autorisées, qui entraîne, pour le groupe critique, une dose de l'ordre de quelques dixièmes de millisieverts*. Dans le cas d'un tel rejet, des mesures de protection hors du site ne seront peut-être pas nécessaires. Événements sur le site entraînant des doses aux travailleurs suffisantes pour provoquer des effets aigus sur leur santé et/ou événements entraînant une grave contamination, par exemple le rejet de quelques milliers de téra becquerels d'activité dans une enceinte de confinement secondaire d'où l'on peut renvoyer les matières dans une zone d'entreposage satisfaisante. Incidents pour lesquels une défaillance supplémentaire des systèmes de sûreté pourrait conduire à des conditions accidentelles ou à une situation dans laquelle les systèmes de sûreté seraient incapables d'empêcher un accident si certains initiateurs devaient se produire. 	Centrale de Vandellós (Espagne), 1989
2 INCIDENT	<ul style="list-style-type: none"> Incidents assortis d'une défaillance importante des dispositions de sûreté mais pour lesquels il reste une défense en profondeur suffisante pour faire face à de nouvelles défaillances. Sont compris les événements qui en raison des défaillances effectives seraient classés au niveau 1, mais qui révèlent des insuffisances supplémentaires importantes au plan de l'organisation ou des lacunes dans la culture de sûreté. Événement entraînant une dose à un travailleur supérieure à la limite annuelle de dose statutaire et/ou événement conduisant à la présence de quantités significatives de radioactivité dans des zones de l'installation où l'on ne s'y attendait pas en raison de la conception et qui exige des mesures correctives. 	
1 ANOMALIE	<ul style="list-style-type: none"> Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé, mais avec maintien d'une solide défense en profondeur. Elle peut être due à une défaillance de matériel, à une erreur humaine ou à des insuffisances dans les procédures et peut se produire dans tout secteur couvert par l'échelle, comme l'exploitation d'une centrale, le transport de matières radioactives, la manutention du combustible et le stockage de déchets. Au nombre des exemples, on citera: les violations des spécifications techniques ou des réglementations de transport, les incidents sans conséquences directes pour la sûreté qui révèlent des inadéquations de l'organisation ou de la culture de sûreté, des défauts mineurs dans la tuyauterie au-delà des attentes du programme de surveillance. 	
0 ÉCART	<ul style="list-style-type: none"> Écarts pour lesquels les limites et les conditions d'exploitation ne sont pas dépassées et qui sont correctement gérés conformément à des procédures adéquates. On peut en donner comme exemples: une défaillance aléatoire simple dans un système redondant, découverte pendant les inspections ou les essais périodiques, la chute de puissance contrôlée d'un réacteur se poursuivant normalement, le déclenchement intempestif de systèmes de protection sans conséquences significatives, des fuites dans les limites d'exploitation, de légères contaminations dans des zones contrôlées sans incidences plus grandes pour la culture de sûreté. 	

* Les doses sont exprimées sous la forme d'équivalents de doses effectifs (doses à l'organisme entier). Ces critères peuvent également, s'il y a lieu, être exprimés sous une forme correspondant aux limites annuelles de rejet d'effluents autorisées par les autorités nationales.

Figure 2. Échelle internationale des événements nucléaires (pour informer rapidement sur leur importance du point de vue de la sûreté)

possible que les pays utilisateurs souhaitent clarifier l'échelle dans le cadre de leur contexte national.

Les procédures de classement détaillées sont expliquées dans le manuel. La brochure sur l'INES ne doit pas être utilisée comme base pour le classement d'événements étant donné qu'elle fournit uniquement des exemples d'événements à chaque niveau et non de véritables définitions.

L'échelle a été conçue pour une utilisation rapide après un événement. Cependant, il y aura des moments où une période plus longue sera nécessaire pour comprendre et classer les conséquences d'un événement. Dans ces rares cas, un classement provisoire sera donné, lequel sera confirmé à une date ultérieure. Il est également possible qu'en raison d'informations supplémentaires un événement exige un nouveau classement.

Bien que la même échelle soit employée pour toutes les installations nucléaires, il est matériellement impossible que des événements consistant en un rejet dans l'environnement de quantités considérables de matières radioactives puissent se produire dans certains types d'installations. Pour ces installations, les niveaux supérieurs de l'échelle ne pourraient pas s'appliquer. Parmi ces dernières figurent les réacteurs de recherche, les installations de traitement du combustible nucléaire non irradié et les sites d'entreposage de déchets.

L'échelle ne se substitue pas aux critères de sûreté déjà retenus au niveau national et international pour l'analyse technique et la notification des événements aux autorités de sûreté. Elle ne fait pas non plus partie des dispositions officielles qui existent dans chaque pays pour faire face aux accidents radiologiques.

L'échelle n'offre pas une base appropriée pour le choix des événements devant faire l'objet d'un retour d'information sur l'expérience d'exploitation, car il est souvent possible de tirer des leçons importantes d'événements relativement mineurs.

Enfin, il n'est pas indiqué d'utiliser l'échelle pour comparer la performance de différents pays en matière de sûreté. Chaque pays a pris des dispositions différentes pour porter les événements mineurs à la connaissance du public et il est en outre difficile, à l'échelon international, d'assurer une parfaite uniformité dans le classement des événements à la frontière entre le niveau 0 et le niveau 1. Bien que des informations soient généralement disponibles sur les événements classés à un niveau égal ou supérieur à 2 sur l'échelle, 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'échelon international.

I-1.5. Exemples d'événements nucléaires classés

L'accident survenu en 1986 à la centrale nucléaire de Tchernobyl en URSS (aujourd'hui en Ukraine) a eu des effets étendus sur l'environnement et la santé humaine. Il est classé au niveau 7.

L'accident survenu en 1957 à l'usine de retraitement de Kyshtym en URSS (aujourd'hui en Fédération de Russie) a entraîné un important rejet hors du site. Des mesures d'urgence, y compris l'évacuation de la population, ont été prises pour limiter les effets graves sur la santé. Sur la base de ses incidences hors du site, cet événement est classé au niveau 6.

L'accident survenu en 1957 à la pile au graphite refroidie par air de Windscale (aujourd'hui Sellafield) au Royaume-Uni a impliqué un rejet extérieur de produits de fission radioactifs. Sur la base de ses incidences hors du site, cet événement est classé au niveau 5.

L'accident qui s'est produit à la centrale de Three Mile Island aux États-Unis en 1979 a entraîné des dommages importants pour le cœur du réacteur. Le rejet de radioactivité hors du site a été très limité. Cet événement est classé au niveau 5 sur la base de ses incidences sur le site.

L'accident survenu en 1973 dans l'usine de retraitement de Windscale (aujourd'hui Sellafield) au Royaume-Uni a impliqué le rejet de matières radioactives dans une zone d'exploitation de l'usine à la suite d'une réaction exotherme d'un réservoir de processus. Cet incident est classé au niveau 4 sur la base de ses incidences sur le site.

L'accident survenu en 1980 dans la centrale nucléaire de Saint-Laurent, en France, a entraîné des dégâts partiels pour le cœur du réacteur, mais sans rejet extérieur de radioactivité. Il est classé au niveau 4 sur la base de ses incidences sur le site.

L'accident de 1983 concernant l'assemblage critique RA-2 à Buenos Aires, en Argentine, excursion de puissance accidentelle due au non-respect des règles de sûreté pendant une séquence de modification du cœur, a entraîné la mort de l'opérateur qui se trouvait sans doute à 3-4 mètres de distance. Des évaluations des doses donnent 21 Gy pour la dose gamma et 22 Gy pour la dose neutronique. Cet événement est classé au niveau 4 sur la base de ses incidences sur le site.

L'incident survenu en 1989 à la centrale nucléaire de Vandellos, en Espagne, n'a entraîné aucun rejet extérieur de radioactivité, ni de dommages au réacteur ni encore de contamination sur le site. Néanmoins, les dommages subis par les systèmes de sûreté de la centrale en raison de l'incendie ont entraîné une dégradation importante de la défense en profondeur. Cet événement est classé au niveau 3 sur la base de ses incidences sur la défense en profondeur.

La grande majorité des événements signalés se situent en dessous du niveau 3. Bien qu'aucun exemple de ces événements ne soit donné ici, les pays qui utilisent l'échelle peuvent souhaiter fournir eux-mêmes des exemples d'événements à ces niveaux inférieurs.

I-1.6. Structure du manuel

Le présent manuel comprend six parties:

- La première partie récapitule les principes de base de l'échelle.
- La partie II résume la procédure à utiliser pour classer les événements et les notifier au service d'information INES.
- La partie III contient les indications détaillées requises pour classer les événements en fonction de leurs incidences hors du site et sur le site.
- La partie IV fournit les indications détaillées requises pour classer les événements en fonction de leurs incidences sur la défense en profondeur.
- La partie V comprend des exemples qui illustrent l'utilisation des indications détaillées de classement.
- La partie VI contient plusieurs appendices avec des informations détaillées sur des aspects particuliers de l'échelle.

PARTIE II

PROCÉDURE DE CLASSEMENT ET NOTIFICATION DES ÉVÉNEMENTS À L'AIEA

II-1. PROCÉDURE DE CLASSEMENT

L'organigramme qui figure dans les pages ci-après décrit succinctement la procédure de classement INES pour le classement de tout événement associé à des matières radioactives et/ou aux rayonnements et de tout événement se produisant pendant le transport de matières radioactives. Le format de l'organigramme a été conçu pour illustrer l'itinéraire logique à suivre afin d'évaluer l'importance de chaque événement pour la sûreté. Il fournit une vue d'ensemble aux personnes qui abordent le classement des événements, ainsi qu'un résumé de la procédure pour les personnes familiarisées avec le manuel de l'utilisateur INES. Bien entendu, cet organigramme ne peut pas être utilisé isolément des indications détaillées qui figurent dans les parties III et IV. Le logiciel INESAR (classement automatique INES) a été conçu sur la base d'un organigramme antérieur similaire.

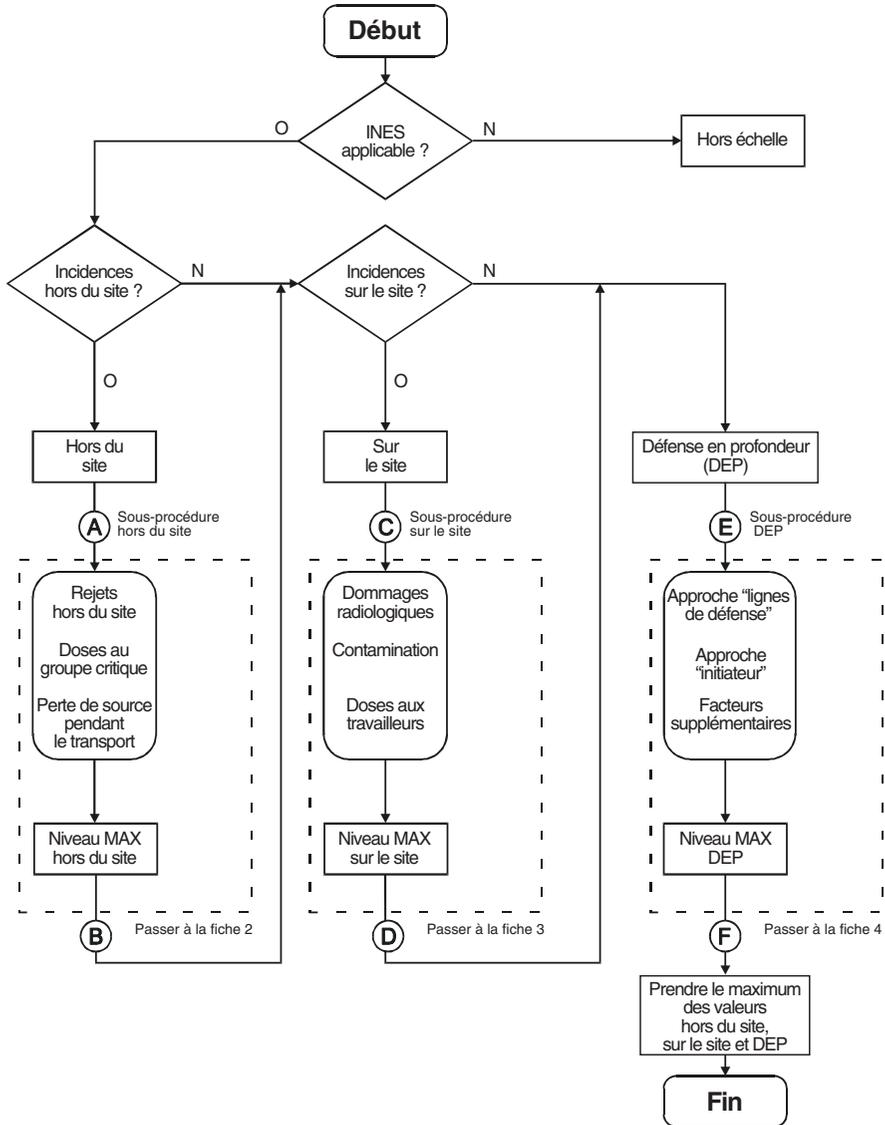
II-2. NOTIFICATION D'ÉVÉNEMENTS AU SERVICE D'INFORMATION DE L'AIEA

Le responsable national INES a pour obligation de communiquer le plus rapidement possible (objectif : dans les 24 heures) les informations officielles sur les conséquences d'un événement à tous les pays participants (voir l'appendice VI) par le biais du service d'information INES de l'AIEA. Les critères pour l'identification des événements à notifier peuvent s'énoncer comme suit :

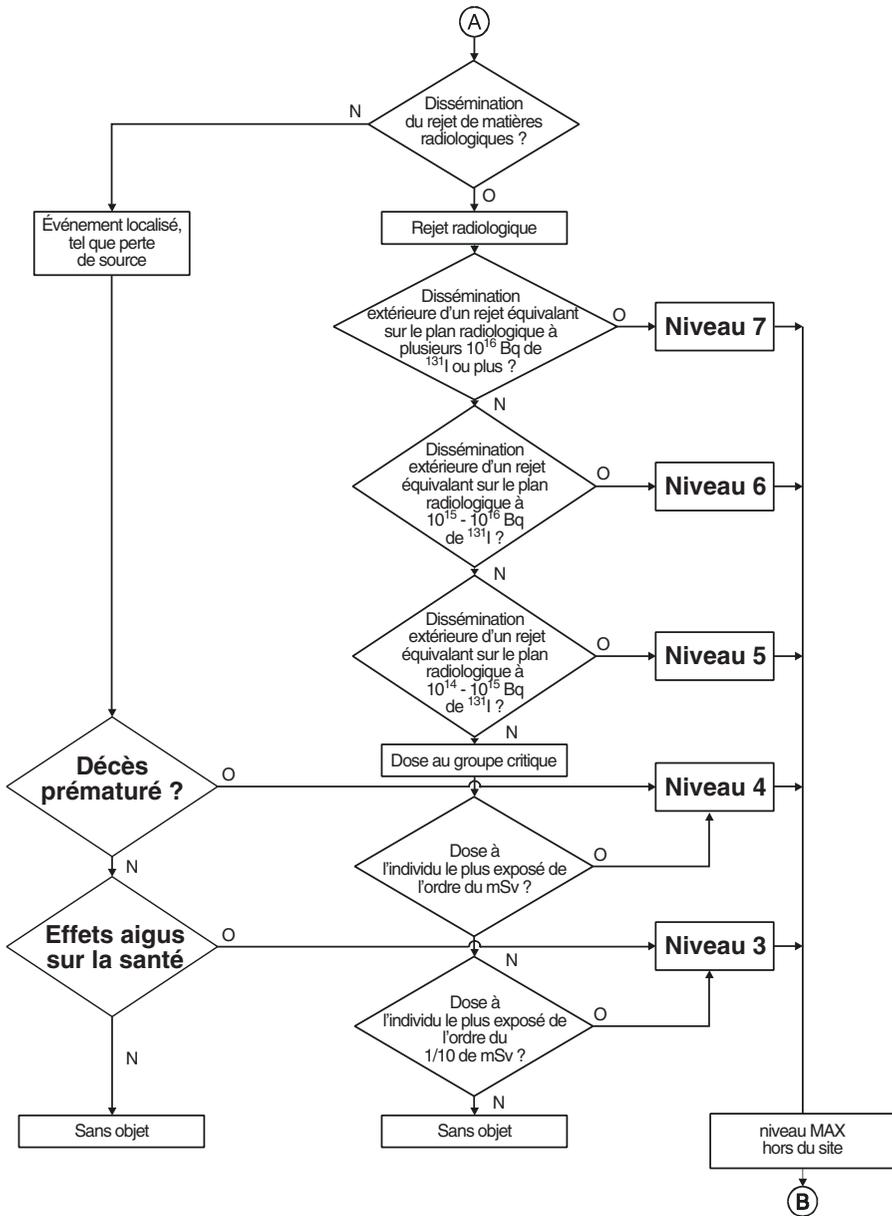
- a) événements classés au niveau 2 et au-dessus;
- b) événements qui suscitent l'intérêt du public international.

Les informations sont présentées sous un format spécifique qui utilise le formulaire de classement des événements que l'on peut se procurer auprès de l'AIEA. Ce formulaire est envoyé au service d'information INES de l'AIEA par deux canaux redondants, à savoir par télécopie et courrier électronique. Le service d'information INES est toujours fonctionnel et peut donc assurer la diffusion permanente du formulaire.

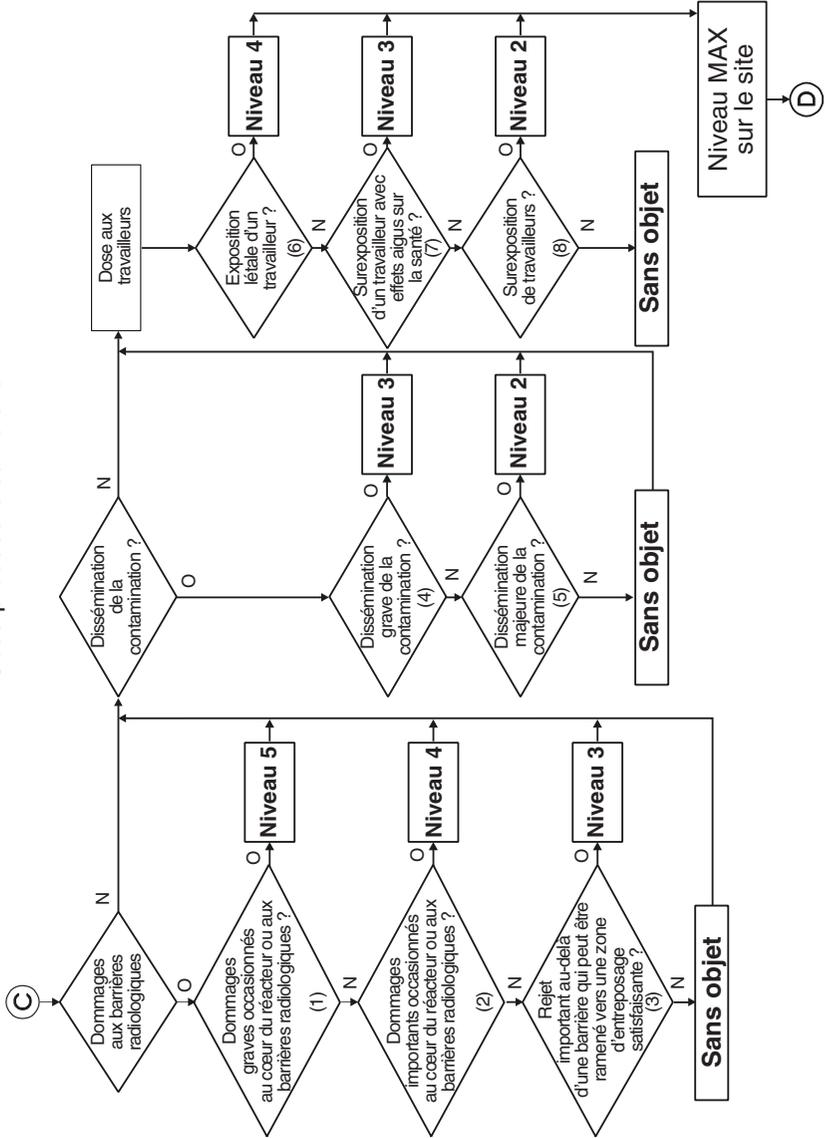
Fiche 1
Procédures de classement INES



Fiche 2
Sous-procédure hors du site



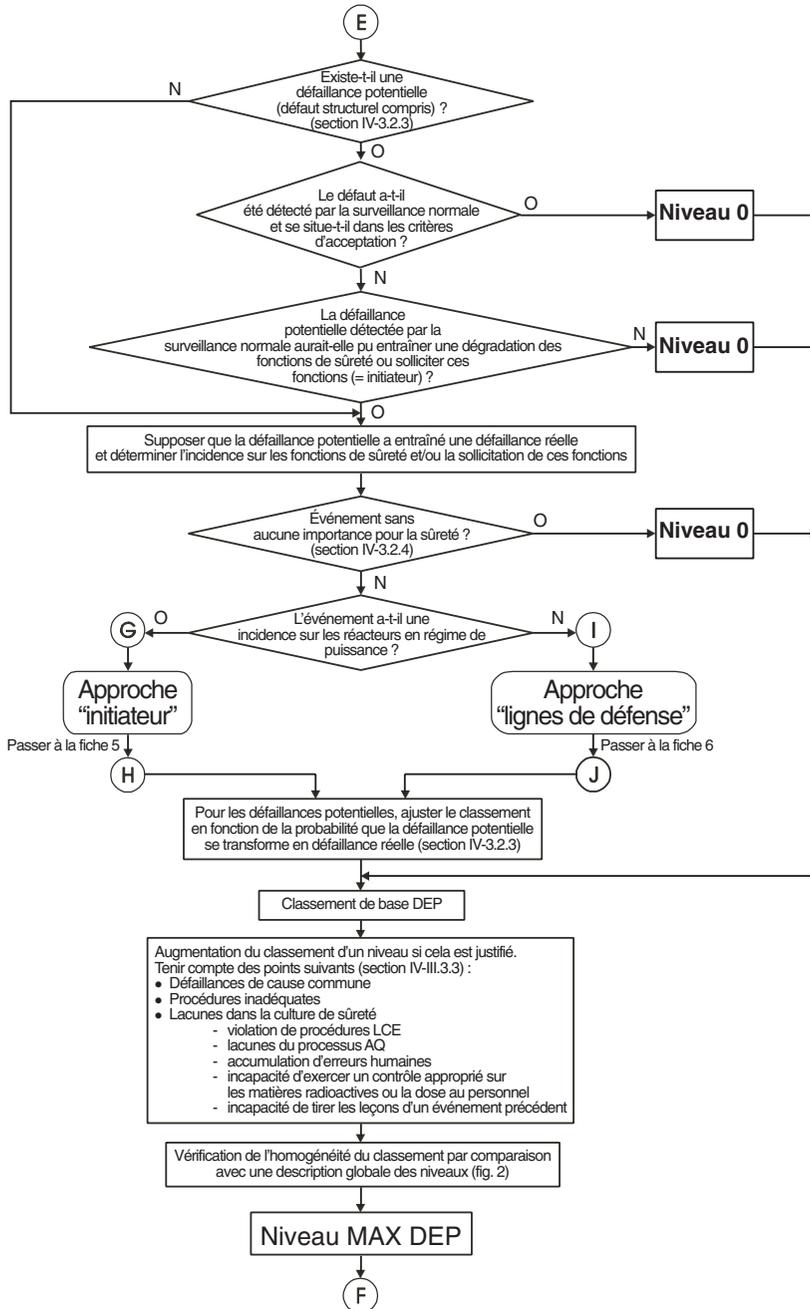
Fiche 3
Sous-procédure sur le site



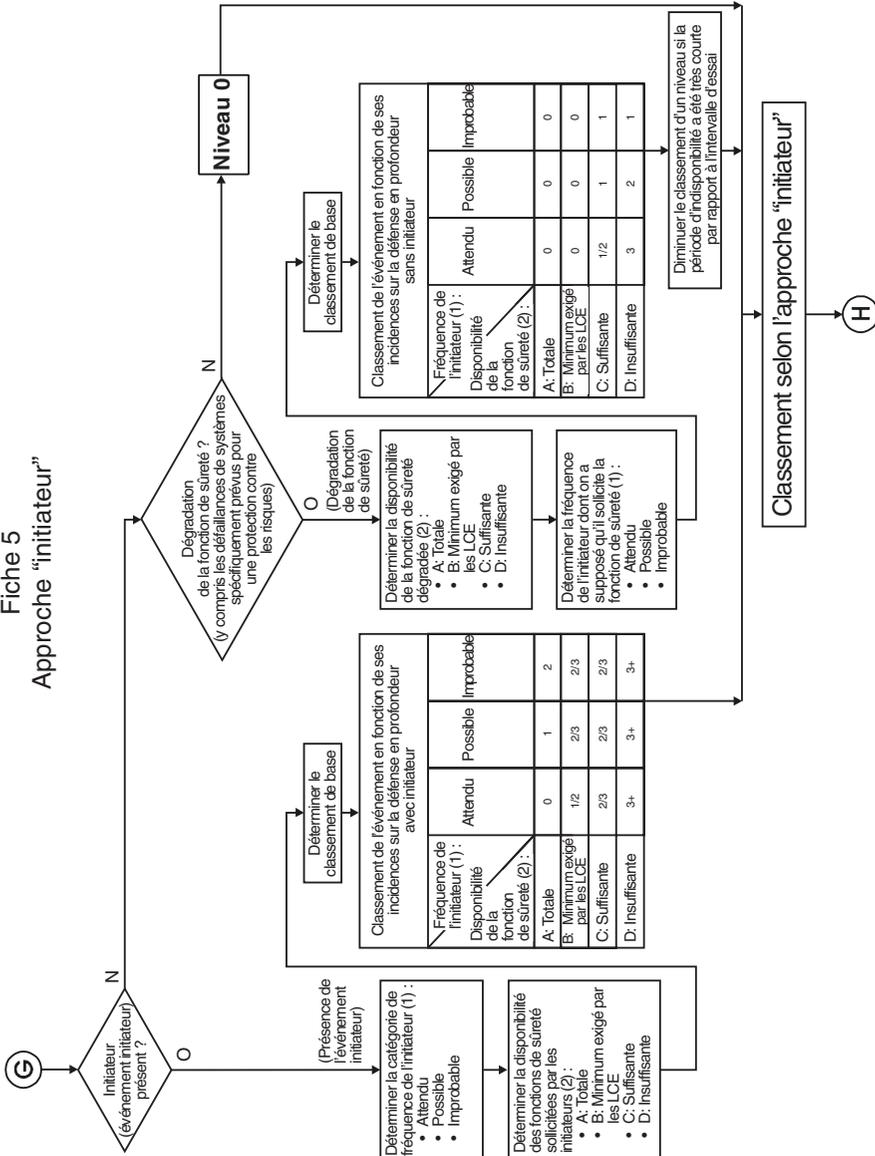
Notes relatives à la fiche 3

1. Plus de quelques pour cent du combustible présent dans un réacteur de puissance ont fondu ou plus de quelques pour cent de la quantité d'activité contenue dans le cœur se sont échappés des assemblages combustibles. Incidents dans d'autres installations impliquant un rejet majeur de radioactivité sur le site (comparable à un rejet résultant de la fusion du cœur) avec une menace grave pour la sûreté radiologique hors du site.
2. Une fusion du combustible s'est produite ou plus d'environ 0,1% de la quantité d'activité contenue dans le cœur d'un réacteur de puissance s'est échappée des assemblages combustibles. Événements dans des installations autres que des réacteurs lorsque quelques milliers de térabecquerels d'activité s'échappent de leur enceinte de confinement primaire et ne peuvent pas être renvoyés vers une zone d'entreposage satisfaisante.
3. Événements qui entraînent le rejet de quelques milliers de térabecquerels d'activité dans une enceinte de confinement secondaire d'où ils peuvent être renvoyés dans une zone d'entreposage satisfaisante.
4. Événements résultant en un débit de dose ou un niveau de contamination qui pourrait facilement avoir entraîné, chez un ou plusieurs travailleurs, une dose provoquant des effets aigus sur la santé (comme une irradiation globale de l'ordre de 1 Gy et des irradiations superficielles du corps de l'ordre de 10 Gy).
5. Événements qui entraînent un débit de dose gamma et neutronique supérieur à 50 mSv par heure dans une zone de service de l'installation (débit de dose mesuré à un mètre de la source). Événement conduisant à la présence de quantités significatives de radioactivité dans l'installation, dans des zones non prévues à la conception (voir la section III-2.3) et qui exige une action corrective. Dans ce contexte, l'expression "quantité significative" devrait être interprétée comme suit : a) contamination par des liquides portant sur une activité totale équivalant, du point de vue radiologique, à quelques centaines de gigabecquerels de ruthénium 106; b) dissémination de matières radioactives solides d'une importance radiologique équivalant à quelques centaines de gigabecquerels de ruthénium 106, à condition que les niveaux de contamination des surfaces et de l'air soient dix fois supérieurs à ceux autorisés pour les zones contrôlées; c) rejet d'aérosols radioactifs, confiné à l'intérieur d'un bâtiment et portant sur des quantités ayant une importance radiologique équivalant à quelques dizaines de gigabecquerels d'iode 131.
6. Irradiation externe d'un ou de plusieurs travailleurs se traduisant par une surexposition pour laquelle un décès précoce serait très probable (environ 5 Gy).
7. Événements qui résultent en un débit de dose ou un niveau de contamination entraînant chez un ou plusieurs travailleurs des effets aigus sur la santé (par exemple une irradiation globale de l'ordre de 1 Gy et des irradiations superficielles du corps de l'ordre de 10 Gy).
8. Événements résultant en une dose à un ou plusieurs travailleurs dépassant une limite annuelle de dose fixée par la Commission internationale de protection radiologique pour les travailleurs sous rayonnements. Événements nécessitant une intervention chirurgicale significative afin d'empêcher une dose qui, sinon, aurait été supérieure d'un ordre de grandeur à la limite annuelle de dose.

Fiche 4
Sous-procédure concernant la défense en profondeur (DEP)



Fiche 5
Approche "initiateur"



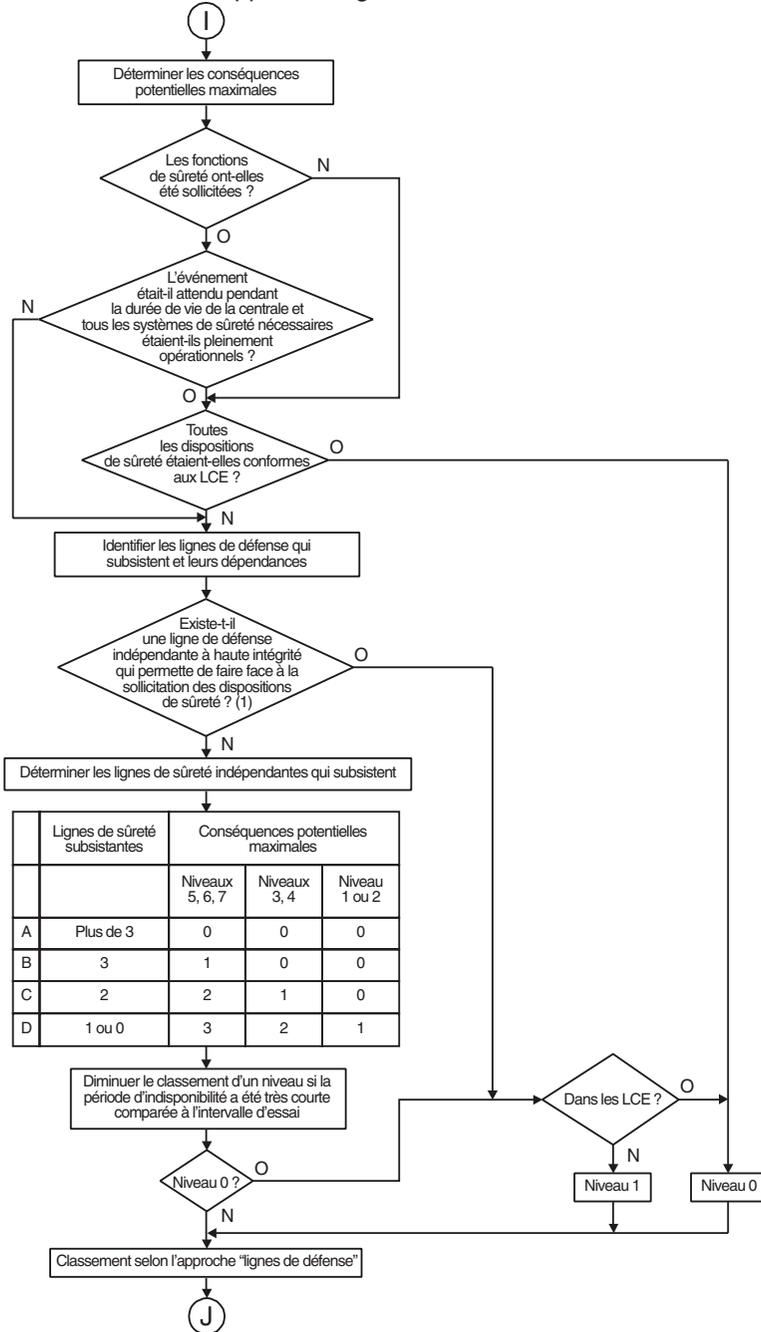
Diminuer le classement d'un niveau si la période d'indisponibilité a été très courte par rapport à l'intervalle d'essai

Notes relatives à la fiche 5

1. Définition de l'initiateur et sa fréquence : un initiateur est un événement qui sollicite les systèmes de sûreté, lesquels doivent alors fonctionner. En pratique, l'initiateur peut être différent du fait qui déclenche l'événement. Les catégories de fréquence des initiateurs s'établissent comme suit :
 - Attendus : initiateurs dont on s'attend qu'ils se produisent une ou plusieurs fois pendant la durée de vie de la centrale.
 - Possibles : initiateurs qui ne sont pas attendus mais dont la fréquence prévue au cours de la vie de la centrale est supérieure à 1 % environ (c'est-à-dire environ $3 \times 10^{-4}/a$).
 - Improbables : initiateurs dont il est tenu compte dans la conception de la centrale, mais qui sont moins probables que ceux de la catégorie précédente.

2. Disponibilité de la fonction 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. Cette fonction est assurée par des systèmes de sûreté, y compris des systèmes d'appui : alimentation électrique, refroidissement et fourniture d'instruments, par exemple. Pour le classement des événements, quatre niveaux de disponibilité sont envisagés :
 - A — Totale : tous les systèmes et composants de sûreté prévus par la conception pour faire face à l'initiateur considéré sont pleinement opérationnels.
 - B — Minimum exigé (par les limites et conditions d'exploitation (LCE)) : disponibilité minimale des systèmes de sûreté spécifiée dans les LCE pour un fonctionnement continu en régime de puissance, même pendant une période limitée.
 - C — Suffisante : niveau de disponibilité des systèmes de sûreté suffisant pour assurer la fonction de sûreté spécifique pour l'initiateur considéré.
 - D — Insuffisante : la disponibilité dégradée des systèmes de sûreté est telle que la fonction de sûreté ne peut pas être assurée.

Fiche 6
Approche "lignes de défense"



Notes relatives à la fiche 6

1. Une ligne de défense à haute intégrité devrait présenter toutes les caractéristiques ci-après :
 - 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 la centrale 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 atténuer le défaut.

PARTIE III

INCIDENCES HORS DU SITE ET SUR LE SITE

III-1. INCIDENCES HORS DU SITE

III-1.1. Description générale

Le classement des événements sur la base des incidences hors du site tient compte des incidences radiologiques réelles à l'extérieur de l'installation. Ces incidences peuvent être exprimées en termes de quantité d'activité rejetée depuis une installation ou de dose évaluée aux membres du public. Il est admis que dans le cas d'un accident important dans une installation, la quantité exacte d'activité rejetée hors du site ne pourra pas être déterminée rapidement. Il devrait néanmoins être possible d'indiquer approximativement l'importance du rejet et donc de classer provisoirement l'accident sur l'échelle. Une réévaluation ultérieure de la quantité rejetée nécessitera peut-être une révision du classement provisoire.

Il importe de noter que l'ampleur des mesures d'intervention appliquées lors d'accidents ne sert pas de base pour le classement. Le contenu des plans d'urgence en cas d'accident dans des installations nucléaires 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 quand bien même elles ne sont pas entièrement justifiées par l'importance réelle du rejet. Pour ces raisons, c'est la quantité rejetée et la dose évaluée qui devraient servir à déterminer le niveau de l'événement sur l'échelle et non pas les dispositions des plans d'urgence ou les mesures de protection qui ont été prises.

Cinq niveaux ont été retenus, depuis le niveau 7, correspondant au rejet d'une fraction importante de la quantité d'activité contenue dans le coeur dans une centrale nucléaire, jusqu'au niveau 3, où la dose à un membre du public équivaut numériquement à environ un dixième de la limite annuelle de dose. Dans le cas des niveaux 3 et 4, la dose engagée au groupe critique est utilisée pour déterminer le niveau approprié. Dans celui des niveaux 5 à 7, leurs définitions sont exprimées sous la forme de quantités d'activité équivalent, du point de vue radiologique, à un nombre donné de térabecquerels d'iode 131. Ce changement de référence s'explique par le fait que, dans le cas des rejets les plus importants, la dose réelle reçue dépendra pour beaucoup des contre-mesures mises en œuvre.

Pour fixer les niveaux de rejet, on a estimé que, compte tenu des contre-mesures vraisemblablement appliquées, un rejet correspondant au niveau 5 pourrait entraîner des doses environ dix fois supérieures aux doses définies pour le niveau 4. Bien entendu, la quantité réelle d'activité rejetée qui correspond au seuil du niveau 5 est

sensiblement supérieure au décuple de la quantité minimale rejetée qui correspond à un accident classé au niveau 4.

En dessous du niveau 3, les incidences hors du site sont considérées comme sans importance du point de vue du classement d'un événement sur l'échelle. Seules les incidences sur le site et les incidences sur la défense en profondeur ont été prises en compte à ces niveaux inférieurs.

Les événements considérés selon les incidences hors du site sont de deux types, l'un et l'autre étant pris en compte dans la définition qui figure ci-après. Le premier correspond à des rejets qui seront largement dispersés de sorte que les doses seront faibles, mais concerneront un nombre important de membres du public. Le deuxième correspond à des doses, telles que celles pouvant résulter d'une source perdue ou d'un incident de transport, qui peuvent être plus fortes mais concernent un nombre nettement plus réduit de personnes. Des indications spécifiques sont données pour ce dernier type d'événement dans les définitions relatives aux niveaux 3 et 4. Les définitions des niveaux 5 à 7 s'appliquent à ces deux types d'événement.

III-1.2. Définition des niveaux

Niveau 7. Rejet majeur

Définition : Rejet à l'extérieur correspondant à une quantité d'activité qui équivaut, du point de vue radiologique¹, au rejet dans l'atmosphère de plusieurs dizaines de milliers au moins de térabecquerels d'iode 131.

Ceci correspond à une fraction importante de la quantité d'activité contenue dans le cœur d'un réacteur de puissance et constituée généralement d'un mélange de produits de fission radioactifs à courte et à longue période. Un tel rejet pourrait entraîner des effets aigus sur la santé. Des effets tardifs sur la santé dans une vaste zone pouvant s'étendre sur plusieurs pays sont à prévoir. Des conséquences à long terme pour l'environnement sont également probables.

Niveau 6. Rejet important

Définition : Rejet à l'extérieur correspondant à une quantité d'activité qui équivaut, du point de vue radiologique (voir note 1), à un rejet dans l'atmosphère de l'ordre de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de térabecquerels d'iode 131.

¹ L'équivalence radiologique est définie à la section III-1.3.

Dans le cas d'un tel rejet, il est très probable que des mesures de protection telles que la mise à couvert et l'évacuation soient jugées nécessaires pour limiter les effets sur la santé des personnes du public dans toute la zone d'application du plan d'urgence.

Niveau 5. Rejet limité

Définition : **Rejet à l'extérieur correspondant à une quantité d'activité qui équivaut, du point de vue radiologique (voir note 1), à un rejet dans l'atmosphère de l'ordre de quelques centaines à quelques milliers de térabecquerels d'iode 131.**

À la suite d'un tel rejet, certaines mesures de protection seraient probablement nécessaires, par exemple une mise à couvert ou une évacuation localisées, afin de réduire le plus possible la probabilité d'effets sur la santé.

Niveau 4. Rejet mineur

Définition : **Rejet radioactif à l'extérieur entraînant, pour le groupe critique, une dose (telle qu'elle est définie à la section III-1.3) de l'ordre de quelques millisieverts, ou événement, tel que la perte d'une source ou un incident de transport, qui entraîne une dose à un membre du public supérieure à 5 Gy (c'est-à-dire une dose assortie d'une probabilité élevée de décès prématuré).**

À la suite d'un tel rejet, il est en général peu probable que des mesures de protection soient prises hors du site, sauf peut-être des contrôles locaux sur les aliments. D'autres mesures peuvent cependant être prises à titre de précaution contre une dégradation plus sévère de l'état de l'installation. L'état de l'installation est pris en compte dans les autres critères de classement (incidences sur le site et sur la défense en profondeur).

Niveau 3. Très faible rejet

Définition : **Rejet radioactif à l'extérieur entraînant, pour le groupe critique, une dose (telle qu'elle est définie à la section III-1.3) de l'ordre de quelques dixièmes de millisievert, ou événement, tel que la perte d'une source ou un incident de transport, qui entraîne une dose à un membre du public ayant des effets aigus sur la santé (comme une irradiation globale de l'ordre de 1 Gy et une irradiation superficielle du corps de l'ordre de 10 Gy).**

À la suite d'un tel rejet, des mesures de protection hors du site ne sont pas nécessaires. De telles mesures peuvent néanmoins être prises à titre de précaution contre une dégradation plus sévère de l'état de l'installation. L'état de l'installation est pris en compte dans les autres critères de classement (incidences sur le site et sur la défense en profondeur).

III-1.3. Calcul de l'équivalence radiologique et de la dose

S'agissant des niveaux 5 à 7, il est probable que des mesures d'interdiction d'aliments seront appliquées, et il faudrait par conséquent évaluer l'importance radiologique relative du rejet dans l'atmosphère en le comparant à la dose efficace totale engagée, tous nucléides confondus, qui est imputable à l'inhalation, à l'irradiation externe résultant du passage du nuage radioactif et à l'irradiation externe à long terme causée par l'activité déposée, autrement dit à toutes les voies d'exposition, à l'exception de l'ingestion. Sur la base des hypothèses figurant dans l'appendice I, le facteur de multiplication pour une série d'isotopes a été calculé et est donné dans le tableau 1. L'activité effectivement rejetée devrait être multipliée par le facteur indiqué puis comparée aux valeurs données dans la définition de chaque niveau.

S'agissant des niveaux 3 et 4, comme il n'y aura probablement pas ou presque de mesures d'interdiction d'aliments, l'importance radiologique relative sera déterminée par comparaison avec la dose efficace engagée imputable à toutes les voies d'incorporation pour le groupe critique. Celle-ci devrait être calculée à l'aide des hypothèses nationales standard de détermination de la dose sans tenir compte de la direction du vent au moment du rejet ou de la période de l'année à laquelle le rejet se produit. Il n'est pas possible de fournir des facteurs de multiplication pour les niveaux 3 et 4 étant donné que la dose par ingestion dépendra des pratiques agricoles locales.

Les rejets liquides entraînant, pour le groupe critique, des doses sensiblement supérieures à celles qui correspondent au niveau 4 devraient être classés au niveau 5 ou à un niveau plus élevé, mais l'évaluation de l'équivalence radiologique dépend du site, et il est donc impossible de donner ici des indications détaillées.

III-2. INCIDENCES SUR LE SITE

III-2.1. Description générale

Le classement des événements sur la base des incidences sur le site tient compte des incidences réelles à l'intérieur de l'installation nucléaire, quels que soient les rejets éventuels hors du site et les effets sur la défense en profondeur. Il est tenu compte de l'ampleur de dégâts radiologiques majeurs, tels que l'endommagement du

TABLEAU I. ÉQUIVALENCE RADIOLOGIQUE POUR LES INCIDENCES HORS DU SITE (*applicable aux niveaux 5 à 7 uniquement*)

Isotope	Facteur de multiplication
^3H	0,02
^{131}I	1
^{137}Cs	30
^{134}Cs	20
^{132}Te	0,3
^{54}Mn	4
^{60}Co	50
^{90}Sr	10
^{106}Ru	7
$^{235}\text{U}(\text{L})^{\text{a}}$	800
$^{235}\text{U}(\text{M})^{\text{a}}$	300
$^{235}\text{U}(\text{R})^{\text{a}}$	100
$^{238}\text{U}(\text{M})^{\text{a}}$	700
$^{238}\text{U}(\text{M})^{\text{a}}$	300
$^{238}\text{U}(\text{R})^{\text{a}}$	50
U_{nat}	800
^{239}Pu (classe Y)	10 000
^{241}Am	9 000
Gaz rares	Négligeable (0 effectivement)

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

cœur, de la dissémination de produits radioactifs à l'intérieur du site mais hors de leur enceinte de confinement prévue et des niveaux de dose aux travailleurs.

Les événements provoquant des dommages radiologiques sont classés aux niveaux 4 ou 5, ceux qui entraînent une contamination sont classés aux niveaux 2 ou 3 et ceux qui donnent lieu à des doses élevées à un travailleur sont classés aux niveaux 2 à 4. L'importance de la contamination est mesurée soit par la quantité disséminée soit par le débit de dose résultant. Ces critères ont trait aux débits de dose dans une zone de service, mais la présence effective d'un travailleur n'est pas nécessaire. Ils ne devraient pas être confondus avec les critères concernant les doses aux travailleurs, qui ont trait aux doses réellement reçues.

Il est admis que la nature exacte des dommages subis par l'installation peut ne pas être connue pendant un certain temps à la suite d'un accident ayant des incidences de ce genre sur le site. On devrait néanmoins pouvoir estimer approximativement la probabilité d'un endommagement important ou grave et décider s'il y a lieu de classer

provisoirement cet événement au niveau 4 ou 5 de l'échelle. Une réévaluation ultérieure de l'état de l'installation nécessitera peut-être une révision du classement provisoire.

En dessous du niveau 2, les incidences sur le site sont considérées comme négligeables aux fins du classement d'un événement sur l'échelle; à ces niveaux inférieurs, seul le critère de la défense en profondeur doit être pris en compte.

III-2.2. Définition des niveaux

Niveau 5. Endommagement grave du cœur du réacteur ou des barrières radiologiques

Définition : **Plus de quelques pour cent du combustible d'un réacteur de puissance ont fondu ou plus de quelques pour cent de la quantité d'activité contenue dans le cœur se sont échappés des assemblages combustibles. Incidents dans les autres installations entraînant un rejet majeur de radioactivité sur le site (comparable à un rejet consécutif à une fusion du cœur) accompagné d'une menace grave pour la sûreté radiologique hors du site.**

On peut donner comme exemples d'accidents dans les autres installations un accident de criticité majeur ou un incendie ou une explosion importants entraînant le rejet de grandes quantités d'activité dans l'installation.

Niveau 4. Endommagement important du cœur du réacteur ou des barrières radiologiques ou exposition létale d'un travailleur

Définition : **Une quantité quelconque de combustible a fondu ou plus de 0,1 % de la quantité d'activité contenue dans le cœur d'un réacteur de puissance s'est échappé des assemblages combustibles; Dans les autres installations, événements impliquant le rejet de quelques milliers de térabecquerels d'activité de leur enceinte de confinement primaire² qui ne peuvent pas être renvoyés dans une zone d'entreposage satisfaisante;**

² Dans ce contexte, les expressions "enceinte de confinement primaire" et "enceinte de confinement secondaire" se rapportent au 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.

Irradiation externe d'un ou de plusieurs travailleurs se traduisant par une dose supérieure à 5 Gy (c'est-à-dire pour laquelle un décès précoce serait très probable).

Niveau 3. Contamination grave et/ou surexposition d'un travailleur entraînant des effets aigus sur sa santé

Définition : **Événements qui donnent lieu à un débit de dose ou un niveau de contamination qui a eu ou aurait pu facilement entraîner chez un ou plusieurs travailleurs une dose ayant des effets aigus sur la santé (par exemple une irradiation globale de l'ordre de 1 Gy et des irradiations superficielles du corps de l'ordre de 10 Gy)³; Événements qui entraînent le rejet de quelques milliers de térabecquerels d'activité dans une enceinte de confinement secondaire (voir note 2) d'où ils peuvent être renvoyés dans une zone d'entreposage satisfaisante.**

Niveau 2. Contamination importante et/ou surexposition de travailleurs

Définition : **Événements qui entraînent une dose à un ou plusieurs travailleurs supérieure à la limite annuelle de dose réglementaire; Événements qui entraînent des débits de dose gamma et neutronique supérieurs à 50 mSv par heure dans une zone de service de l'installation (débit de dose mesuré à 1 m de la source); Événements qui conduisent à la présence dans l'installation de quantités significatives de radioactivité, dans des zones non prévues (pour elles) à la conception (voir les définitions à la fin de la partie IV), et qui exigent des mesures correctives. Dans ce contexte, l'expression "quantité significative" devrait être interprétée comme suit :**

- a) Contamination par des liquides portant sur une activité totale équivalant, du point de vue radiologique, à quelques centaines de gigabecquerels de ruthénium 106;
- b) Dissémination de matières radioactives solides d'une importance radiologique équivalant à quelques centaines de gigabecquerels de ruthénium 106, à condition que les niveaux de contamination des

³ Ceci exige une évaluation basée sur le débit de dose, le temps et les mesures de protection.

surfaces et de l'air soient dix fois supérieurs à ceux autorisés pour les zones de service (voir les définitions à la fin de la partie IV);

- c) Rejet d'aérosols radioactifs, confiné à l'intérieur d'un bâtiment et portant sur des quantités ayant une importance radiologique équivalant à quelques dizaines de gigabecquerels d'iode 131.

III-2.3. Calcul de l'équivalence radiologique

Les hypothèses à utiliser pour le calcul de l'équivalence radiologique pour l'incidence sur le site sont données dans l'appendice I. Sur la base de ces hypothèses, les facteurs de multiplication pour une série d'isotopes ont été calculés et sont reproduits dans le tableau II. L'activité effectivement rejetée devrait être multipliée par le facteur indiqué puis comparée aux valeurs données dans la définition de chaque niveau pour l'iode 131 ou le ruthénium 106.

TABLEAU II. ÉQUIVALENCE RADIOLOGIQUE POUR LES INCIDENCES SUR LE SITE

Isotope	Facteur de multiplication pour l'équivalence ¹³¹ I	Facteur de multiplication pour l'équivalence ¹⁰⁶ Ru
³ H	0,002	0,0006
¹³¹ I	1	0,3
¹³⁷ Cs	0,6	0,2
¹³⁴ Cs	0,9	0,3
¹³² Te	0,3	0,1
⁵⁴ Mn	0,1	0,03
⁶⁰ Co	1,5	0,5
⁹⁰ Sr	7	2
¹⁰⁶ Ru	3	1
²³⁵ U (L) ^a	600	700
²³⁵ U (M) ^a	200	200
²³⁵ U (R) ^a	50	20
²³⁸ U (L) ^a	500	30
²³⁸ U (M) ^a	100	170
²³⁸ U (R) ^a	50	20
U _{nat}	600	200
²³⁹ Pu (classe Y)	9 000	3 000
²⁴¹ Am	2 000	700
Gaz rares	Négligeable (0 effectivement)	Négligeable (0 effectivement)

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

PARTIE IV

INCIDENCES SUR LA DÉFENSE EN PROFONDEUR

La présente partie du manuel comporte trois sections principales. La première donne la définition de base de la défense en profondeur, qui est sans aucun doute familière à la plupart des lecteurs. La deuxième section indique 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'installations et d'événements, ils sont généraux. Pour faire en sorte qu'ils soient appliqués de manière homogène, la section 3 fournit des indications plus détaillées. Ces indications sont exposées avec encore plus de détails dans la partie V, qui fournit des indications spécifiques pour certains types d'événements et donne un certain nombre d'exemples traités.

IV-1. GÉNÉRALITÉS

La prévention des accidents et des incidents radiologiques et, partant, la sûreté d'une installation nucléaire reposent sur la qualité de la conception et de l'exploitation. À ces deux stades, on applique en général le concept de défense en profondeur, qui tient compte de la possibilité de défaillances de matériel, d'erreurs humaines et d'apparition d'événements imprévus.

Le Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire définit ainsi la défense en profondeur :

“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.”⁴

Une défense en profondeur similaire est prévue pour toutes les installations nucléaires et pour le transport des matières radioactives. Les dispositions couvrent la

⁴ GROUPE CONSULTATIF INTERNATIONAL POUR LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, AIEA, Vienne (1999) 17.

protection du public et des travailleurs et indiquent par quels moyens empêcher le transfert de matières vers des endroits mal protégés et les rejets radioactifs. 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 renforcent les lignes de défense successives.

La sûreté d’exploitation est assurée par trois fonctions fondamentales de sûreté :

- a) Maîtrise de la réactivité ou du déroulement des processus;
- b) Refroidissement des matières radioactives;
- c) Confinement des matières radioactives.

Chacune des fonctions de sûreté est assurée par une bonne conception, une exploitation bien maîtrisée et un ensemble de systèmes et de contrôles administratifs. Pour la justification de la sûreté de la centrale, les systèmes d’exploitation peuvent être distingués des dispositions en matière de sûreté; la défaillance de systèmes d’exploitation déclenche l’application de dispositions de sûreté supplémentaires de manière à conserver la fonction 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).

La fréquence de sollicitation des dispositions de sûreté est réduite au minimum par la qualité de la conception, du fonctionnement, de la maintenance, de la surveillance, etc. Par exemple, la fréquence des défaillances du circuit primaire d’un réacteur est réduite par les marges de conception, le contrôle de la qualité, les contraintes d’exploitation, la surveillance, etc. De même, la fréquence des transitoires de réacteurs est réduite par les procédures d’exploitation, les systèmes de contrôle, etc. Des systèmes d’exploitation et de contrôle normaux contribuent à réduire la fréquence des sollicitations des dispositions de sûreté.

Dans certains cas, il n’est pas possible de diminuer la fréquence de sollicitation des dispositions de sûreté dans une mesure significative, par exemple les tentatives de pénétration dans des cellules qui peuvent contenir des sources. Les fonctions de sûreté sont alors assurées uniquement par des dispositions de sûreté dont l’intégrité est appropriée.

IV-2. PRINCIPES GÉNÉRAUX POUR LE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS

Ces indications s’appliquent à une large gamme d’installations nucléaires où la quantité de matières radioactives en jeu et la durée des événements peuvent être extrêmement variables. Ces facteurs importants sont à prendre en compte pour classer des

événements et il est inévitable que les indications fournies ici soient générales et qu'il faille exercer une part de jugement. Des indications plus spécifiques sont données plus loin.

Pour la défense en profondeur, il y a trois niveaux de classement au-dessus de 0, mais dans certaines installations, les incidences maximales possibles sur le site ou hors du site sont limitées par la quantité de matières radioactives présentes et par le mécanisme de rejet. Il est évident que le niveau le plus élevé possible sous l'angle de la défense en profondeur, dès lors qu'un accident a été évité, doit être inférieur au niveau le plus élevé possible sous l'angle des incidences sur le site ou hors du site. Si, pour une activité donnée, les incidences maximales possibles ne peuvent donner lieu à un classement supérieur au niveau 4 sur l'échelle, on peut considérer qu'un classement maximum de niveau 2 est approprié sous l'angle de la défense en profondeur. De même, si le niveau potentiel maximum ne peut pas dépasser le niveau 2, le maximum sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 1.

Dans une même installation peuvent naturellement être menées plusieurs activités et, dans ce cas, il faut examiner chaque activité séparément. Par exemple, l'entreposage des déchets et l'exploitation d'un réacteur devraient être considérés comme des activités distinctes bien qu'elles puissent se dérouler dans la même installation.

Après avoir identifié la limite supérieure du classement sous l'angle de la défense en profondeur, on procède au classement en évaluant la probabilité que l'événement aurait pu entraîné 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 des dispositions de sûreté auraient été nécessaires pour entraîner un accident. On tient également compte des problèmes culturels sous-jacents mis en évidence dans l'événement et qui auraient pu augmenter la probabilité que l'événement entraîne un accident.

Les étapes suivantes devraient donc être suivies pour classer un événement :

- 1) La limite supérieure de classement sous l'angle de la défense en profondeur devrait être fixée en tenant compte des conséquences radiologiques potentielles maximales (c'est-à-dire le classement potentiel maximal pour les activités considérées dans cette installation sur le plan des incidences hors du site et sur le site). Des indications complémentaires sur la définition des conséquences potentielles maximales sont données à la section IV-3.1.
- 2) Il faudrait ensuite déterminer le classement de base en tenant compte du nombre et de l'efficacité des dispositions de sûreté (matérielles et administratives) existantes pour la prévention, la surveillance et l'atténuation, y compris les barrières passives et actives. Pour identifier le nombre et l'efficacité de ces dispositions, il est important de tenir compte du temps imparti et du temps nécessaire pour déterminer et mettre en œuvre la mesure corrective appropriée.

Des indications complémentaires sur l'évaluation des dispositions de sûreté sont données à la section IV-3.2.

- 3) Outre les considérations qui précèdent, lorsque l'on envisage d'élever le classement de base, il faut, comme expliqué à la section IV-3.3, rester dans la limite supérieure de classement sous l'angle de la défense en profondeur définie sous 1) ci-dessus. Le classement à un niveau supérieur permet de tenir compte des aspects de l'événement qui peuvent indiquer un degré de dégradation supérieur 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 compris 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 un classement au niveau immédiatement supérieur pour communiquer la véritable importance de l'événement au public.

Il est évident que chaque événement doit être envisagé non seulement sous l'angle de la défense en profondeur, mais aussi par rapport à ses incidences hors du site et sur le site.

IV-3. INDICATIONS DÉTAILLÉES POUR LE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS

IV-3.1. Identification des conséquences potentielles maximales

Pour l'évaluation des événements qui ont une incidence sur la plus grande partie du cœur du réacteur ou sur le combustible dans la piscine à combustible usé des réacteurs de puissance, il n'est pas nécessaire, en général, de tenir compte spécifiquement des conséquences potentielles maximales. On admet la possibilité théorique d'un rejet important et la limite supérieure de classement sous l'angle de la défense en profondeur est donc le niveau 3.

Pour d'autres installations, ou pour des activités qui ne concernent qu'une fraction réduite du cœur (par exemple la manutention de combustible), il faut tenir compte des conséquences potentielles maximales (c'est-à-dire du classement potentiel maximal sous l'angle des incidences hors du site et sur le site) dans l'hypothèse où toutes les dispositions de sûreté seraient défaillantes. Pour certaines installations, il peut être matériellement impossible d'atteindre les niveaux supérieurs de l'échelle, même pour des accidents extrêmement peu probables. Les conséquences potentielles maximales ne sont pas spécifiques d'un type d'événement, mais s'appliquent à un ensemble d'opérations dans une installation.

Pour l'évaluation du classement potentiel maximum sous l'angle des incidences hors du site et sur le site, les principes généraux suivants devraient être pris en compte :

- a) Tout site peut comporter plusieurs installations avec un éventail de tâches exécutées dans chaque installation. Par conséquent, le classement potentiel maximal devrait être spécifique du type d'installation où l'événement s'est produit et du type d'opérations en cours au moment de l'événement;
- b) Il faut tenir compte des matières radioactives qui pourraient avoir été impliquées dans l'événement, des propriétés physiques et chimiques de ces matières et des mécanismes par lesquels l'activité pourrait avoir été disséminée;
- c) Il ne faudrait pas limiter l'analyse aux scénarios envisagés pour la justification de la sûreté de la centrale, mais prendre aussi en compte les accidents physiquement possibles dans l'hypothèse où toutes les dispositions de sûreté de la centrale sollicitées par l'événement auraient été défailtantes.

Ces principes peuvent être illustrés par les exemples qui suivent :

- 1) Pour les événements associés aux verrouillages des cellules de maintenance, il est probable que les conséquences potentielles maximales seront liées à l'exposition d'un travailleur. Si les niveaux de rayonnements sont suffisamment élevés pour causer le décès d'un travailleur en cas d'accès à la cellule et qu'aucune mesure d'atténuation n'est prise, le classement potentiel maximal se situe alors au niveau 4 sous l'angle des incidences sur le site;
- 2) Pour les événements concernant de petits réacteurs de recherche (c'est-à-dire d'une puissance inférieure à 1 MW), bien qu'il existe des mécanismes physiques de dissémination d'une fraction significative des matières du cœur (accidents de criticité ou perte de refroidissement du combustible), la quantité totale de matières est telle que le classement potentiel maximal ne pourrait être supérieur au niveau 4, soit sur le site soit hors du site, même si toutes les dispositions de sûreté étaient défailtantes;
- 3) Pour les installations de retraitement et les autres installations traitant des composés du plutonium, la quantité de matières et les mécanismes physiques de dissémination d'une fraction significative de ces matières (accidents de criticité, explosions chimiques ou incendies) sont tels que le classement potentiel maximal pourrait dépasser le niveau 4, sous l'angle des incidences hors du site ou sur le site, dans l'hypothèse où toutes les dispositions de sûreté seraient défailtantes;
- 4) Pour les installations de fabrication et d'enrichissement de combustible à l'uranium, les problèmes de sûreté sont d'ordre chimique et radiologique. Il faut souligner que le risque chimique dû à la toxicité du fluor et de l'uranium est

supérieur au risque radiologique. Cependant, l'échelle INES sert uniquement à l'évaluation du risque radiologique. D'un point de vue radiologique, aucune conséquence grave sur le site ou hors du site dépassant un classement de niveau 4 n'est concevable à partir d'un rejet d'uranium ou de ses composés.

IV-3.2. Identification du classement de base compte tenu de l'efficacité des dispositions de sûreté

Étant donné que l'analyse de sûreté des réacteurs en régime de puissance se conforme à une pratique internationale commune, il est possible de fournir des indications plus spécifiques sur l'évaluation des dispositions de sûreté pour des événements survenant dans ces circonstances. En outre, ainsi qu'on l'a noté au début de la section IV-3.1, il n'est pas nécessaire que le classement tienne compte explicitement des conséquences potentielles maximales. 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. D'autres événements survenant sur les sites de réacteurs, par exemple ceux qui sont associés à un réacteur à l'arrêt ou à d'autres installations du site, devraient être classés en utilisant l'approche "lignes de défense" décrite à la section IV-3.2.2. De même, pour les événements concernant des réacteurs de recherche il faudrait utiliser l'approche "lignes de défense" pour tenir dûment compte des conséquences potentielles maximales et des principes de conception. L'appendice II donne une vue d'ensemble de cette approche pour aider ceux qui ne sont pas familiarisés avec l'échelle.

IV-3.2.1. Événements concernant des réacteurs en régime de puissance (approche "initiateur")

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 sûreté pour évaluer l'adéquation des systèmes de sûreté installés : l'initiateur est un événement qui sollicite les systèmes de sûreté, qui doivent alors fonctionner.

Les événements ayant une incidence sur la défense en profondeur de la centrale sont généralement de deux formes :

- Initiateur (événement initiateur) nécessitant le fonctionnement de certains systèmes de sûreté particuliers prévus pour faire face aux conséquences de cet initiateur;
- Dégradation de la disponibilité d'une fonction de sûreté due à la dégradation de la disponibilité d'un ou de plusieurs systèmes de sûreté en l'absence de l'initiateur pour lequel les systèmes de sûreté avaient été prévus.

Dans le premier cas, le classement de l'événement dépend essentiellement 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 dépendrait :

- 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.

L'approche de base pour le classement de ces événements consiste donc à identifier la fréquence des initiateurs pertinents et la disponibilité des fonctions de sûreté correspondantes. Deux tableaux sont utilisés pour choisir le classement de base approprié. D'autres informations sur l'utilisation des tableaux figurent dans l'appendice III. Des indications détaillées concernant le classement sont fournies ci-après.

IV-3.2.1.1. Détermination de la fréquence des initiateurs

Quatre catégories de fréquence ont été retenues :

- 1) *Attendu*. Cette catégorie comprend les initiateurs dont on s'attend qu'ils se produisent une ou plusieurs fois pendant la durée de vie de la centrale;
- 2) *Possible*. Initiateurs qui ne sont pas "attendus" mais dont la fréquence prévue au cours de la vie de la centrale est supérieure à 1 % environ (c'est-à-dire environ 3×10^{-4} par an);
- 3) *Improbable*. Initiateurs dont il est tenu compte dans la conception de la centrale, mais qui sont moins probables que ceux de la catégorie précédente;
- 4) *Hors dimensionnement*. Initiateurs très rares dont il n'est pas normalement tenu compte dans l'analyse de sûreté classique de la centrale. Lorsque des systèmes de sûreté sont prévus contre ces initiateurs, ils ne comportent pas obligatoirement le même degré de redondance ou de diversité que les mesures prises contre les accidents de référence.

Chaque centrale a sa propre liste d'initiateurs et ses propres catégories de fréquence. Des exemples types d'initiateurs de référence, classés selon les catégories

ci-dessus, sont donnés dans l'appendice IV. Les petites perturbations de la centrale corrigées par les systèmes de commande (par opposition aux systèmes de sûreté) ne sont pas comprises dans les initiateurs. L'initiateur peut être différent de l'incident qui déclenche l'événement; d'autre part, plusieurs séquences d'événements différentes 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.

IV-3.2.1.2. Disponibilité des fonctions de sûreté

Les trois fonctions de sûreté fondamentales sont :

- a) Maîtrise de la réactivité ou du déroulement des processus;
- b) Refroidissement des matières radioactives;
- c) 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. Par ailleurs, des dispositifs auxiliaires tels que les alimentations électriques, le refroidissement et les alimentations de l'instrumentation seront nécessaires pour assurer qu'une fonction de sûreté est remplie. Pour classer un événement, il est important de tenir compte de 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 régissent la disponibilité de chaque système de sûreté. Dans la plupart des pays, elles sont incluses dans les spécifications techniques.

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 de classement des événements, quatre niveaux de disponibilité sont envisagés.

A. Totale

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

Niveau de disponibilité des systèmes de sûreté suffisant pour que la fonction de sûreté soit remplie à l'égard de l'initiateur considéré. Pour certains systèmes de sûreté, ce niveau de disponibilité est inférieur à celui qui est exigé par les LCE. Par exemple, les LCE exigent que des systèmes de sûreté divers soient disponibles pour assurer une fonction de sûreté à l'égard d'un initiateur donné, mais un seul l'est, ou aucun des systèmes de sûreté prévus pour assurer la fonction de sûreté n'est disponible, mais cela pendant un temps si court que la fonction peut être remplie par d'autres moyens, bien qu'en dehors des LCE. (La fonction de sûreté "refroidissement du combustible" peut être assurée en cas de perte totale de réseau de la station, si celle-ci est de courte durée.) Dans d'autres cas, les niveaux B et C peuvent coïncider.

D. Insuffisante

La disponibilité des systèmes de sûreté est si amoindrie que la fonction de sûreté ne peut pas être remplie à l'égard de l'initiateur considéré.

À noter que les niveaux C et D représentent une gamme d'états de la centrale, mais que les niveaux A et B correspondent à des degrés de disponibilité précis. Aussi la disponibilité réelle peut-elle se situer entre 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 IV-3.2.1.3 a).

IV-3.2.1.3. Détermination du classement de base

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 IV-3.2.1.3 a) qui s'applique, sinon il faut se référer à la section IV-3.2.1.3 b). Il peut être nécessaire d'envisager un événement selon l'une et l'autre sections si un initiateur révèle une disponibilité réduite d'une fonction non sollicitée 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, comme la découverte de défauts structurels, une approche similaire à celle décrite dans la section IV-3.2.3 est utilisée.

a) Événements avec initiateur réel

La première étape consiste à définir la fréquence attribuée à ce type d'initiateur lors de la conception. Pour décider de la catégorie appropriée, la fréquence pertinente est celle qui a été prise comme hypothèse dans l'analyse de sûreté de la centrale (justification de la sûreté de la centrale et de son domaine d'exploitation). L'appendice IV en fournit quelques exemples.

La deuxième étape consiste à déterminer la disponibilité des fonctions de sûreté sollicitées par l'initiateur. Il est important de ne tenir compte que des fonctions de sûreté sollicitées. Si la dégradation d'autres systèmes de sûreté est découverte, il faut l'évaluer par application de la section IV-3.2.1.3 b) en fonction d'un initiateur qui aurait sollicité cette fonction de sûreté. Il est aussi important de noter que lorsque l'on décide si la disponibilité se situe dans les LCE, ce sont les exigences de disponibilité antérieures à l'événement qui doivent être prises en compte et non pas celles qui s'appliquent pendant l'événement. Si la disponibilité se situe dans les LCE, mais tout juste, c'est le niveau C qui devrait être utilisé.

Le classement des événements devrait être ensuite défini à l'aide du tableau III. Si plusieurs classements sont possibles, la sélection devrait être fonction de l'étendue

TABLEAU III. ÉVÉNEMENTS AVEC INITIATEUR RÉEL

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

de la redondance et de la diversité disponibles pour l'initiateur considéré. 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. Dans la cellule B1 du tableau III, la valeur inférieure serait appropriée si une redondance ou une diversité considérables restent disponibles.

Si la disponibilité de la fonction de sûreté est supérieure au minimum exigé par les LCE, mais moins que "totale", une redondance et une diversité considérables peuvent être disponibles pour les initiateurs attendus. Dans ces cas, le niveau 0 serait plus approprié.

Les initiateurs hors dimensionnement n'ont pas été inclus dans le tableau III. Si un tel initiateur se produit, 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. Toutefois, il est possible que les initiateurs hors dimensionnement entraînent un accident devant être classé sous l'angle des incidences hors du site et sur le site.

L'apparition de risques internes et externes comme les incendies, les explosions externes ou les tornades peut être classée à l'aide du tableau. Le risque lui-même ne devrait pas être considéré comme l'initiateur, mais les systèmes de sûreté qui restent disponibles devraient être évalués par rapport à un initiateur qui s'est produit et/ou par rapport à des initiateurs potentiels.

b) Événements sans initiateur réel

La première étape est de déterminer la disponibilité de la fonction de sûreté. En pratique, les systèmes ou les composants de sûreté peuvent se trouver dans un état qui ne correspond complètement à aucun des quatre niveaux décrits. La disponibilité peut ne pas être totale mais être supérieure au minimum requis 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 fournir l'éventail de classement possible, le classement effectif étant choisi après analyse. Si la disponibilité est tout juste suffisante, mais se situe encore dans les LCE, c'est le niveau B qui devrait être utilisé.

La deuxième étape consiste à déterminer la fréquence de l'initiateur pour lequel la fonction de sûreté est requise. S'il existe plusieurs initiateurs, chacun doit être pris en compte. On retiendra celui qui donne le classement le plus élevé. Si la fréquence se situe à la limite entre deux catégories, un certain jugement devra être exercé. Pour les systèmes spécifiquement prévus pour une protection contre les risques, le risque devrait être considéré comme l'initiateur.

Le classement des événements devrait alors être déterminé à l'aide du tableau IV. Si plusieurs classements sont possibles, la sélection doit être fonction de l'adéquation de la disponibilité ou de la persistance d'une redondance ou d'une diversité pour l'initiateur considéré. Si la période d'indisponibilité a été très courte par

TABLEAU IV. ÉVÉNEMENTS SANS INITIATEUR RÉEL

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

rapport à l'intervalle entre les essais des composants du système de sûreté, on pourra envisager de diminuer le classement de base de l'événement.

Les initiateurs hors dimensionnement ne sont pas inclus spécifiquement dans le tableau IV. Lorsque la disponibilité de la fonction de sûreté considérée est inférieure au minimum requis 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, le niveau 0 est approprié.

IV-3.2.2. Tous autres événements (événements non associés à un réacteur en régime de puissance) (approche "lignes de défense")

Pour classer un événement, il faut tenir compte des dispositions de sûreté et évaluer le nombre de lignes de défense distinctes qui ont empêché un accident. Lorsque l'on procède ainsi, il faut aussi tenir compte du temps imparti et du temps requis pour prendre des mesures correctives efficaces. Chacun de ces aspects est abordé ci-après.

IV-3.2.2.1. Temps imparti

Dans certains cas, le temps imparti pour exécuter des actions correctives peut être nettement plus important que le temps requis pour ces actions et peut donc rendre disponibles des lignes de défense supplémentaires. Ces lignes de défense supplémentaires peuvent être prises en compte à la condition que des procédures existent pour exécuter les actions nécessaires. 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, la longueur du temps imparti fournit une ligne de défense hautement fiable dont il faut également en tenir compte, comme expliqué ci-après.

IV-3.2.2.2. Identification des lignes de défense

Une ligne de défense devrait être considérée comme une disposition de sûreté qui ne peut pas être subdivisée en parties redondantes. Ainsi, si la fonction de refroidissement est assurée par deux circuits totalement distincts, il faudrait la considérer comme deux lignes de défense distinctes, à moins qu'il n'y ait un système de support non redondant commun.

Les lignes de défense peuvent être basées sur des composants passifs, des composants actifs ou des contrôles administratifs. Elles peuvent comprendre des procédures de surveillance, bien qu'il convienne de noter que la surveillance à elle seule ne constitue pas une ligne de défense; des moyens de mettre en œuvre l'action corrective sont également requis.

S'agissant du nombre des lignes de défense, il faut vérifier que l'efficacité d'un certain nombre de lignes matérielles distinctes n'est pas diminuée par un système de support commun ou l'intervention d'un même opérateur en réaction à des alarmes ou à des signalisations. Dans ces cas, même s'il y a plusieurs lignes matérielles, il peut n'y avoir qu'une seule ligne de défense effective.

Si l'on considère les contrôles administratifs comme des 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 présente une fiabilité suffisante pour être considérée comme une ligne de défense. Il n'est pas possible de fournir d'indications plus explicites et il faudra inévitablement recourir au jugement.

Dans certains cas, une ligne de défense à haute intégrité pourra être disponible, par exemple un château de transport du combustible correctement transporté, la cuve sous pression d'un réacteur ou une disposition de sûreté basée sur des phénomènes de sûreté passive naturels comme le refroidissement par convection. Dans les cas où l'on a la preuve que la ligne possède une intégrité/fiabilité extrêmement élevée, il serait évidemment inapproprié de ne la considérer que comme une simple ligne de défense. Une ligne de défense à haute intégrité devrait avoir 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 la centrale 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.

On peut donner comme exemple de ligne à haute intégrité la cuve d'un réacteur. Les contrôles administratifs ne satisfont pas normalement aux critères définissant une ligne à haute intégrité encore que, comme on a pu le voir ci-dessus, certaines procédures d'exploitation puissent être considérées comme des lignes de défense à haute intégrité si les délais d'exécution des mesures requises et de correction des éventuelles erreurs des opérateurs sont très longs et que l'éventail des mesures disponibles est très large.

IV-3.2.2.3. Détermination du classement de base

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

- 1) L'analyse de sûreté de la centrale va identifier un large éventail d'événements qui ont été pris en compte dans la conception. Elle permet de constater que certains de ces événements pourraient normalement se produire pendant la durée de vie de la centrale (c'est-à-dire qu'ils auront une fréquence supérieure à $1/N$ par an, N étant la durée de vie attendue de la centrale). Si la sollicitation des dispositions de sûreté lors de l'événement a été telle que les systèmes de sûreté prévus pour faire face à cet événement étaient entièrement disponibles avant l'événement et se sont comportés comme prévu, l'événement devrait alors être classé au niveau 0. De même, si aucune sollicitation réelle des dispositions de sûreté ne se produit, mais que l'on s'aperçoit de leur dégradation, l'événement devrait être classé au niveau 0 si la disponibilité dégradée des dispositions de sûreté se situe toujours dans les LCE;
- 2) Pour toutes les autres situations, le tableau V devrait être utilisé pour déterminer le classement de base.

Si une seule ligne de défense subsiste, mais que cette ligne répond à toutes les exigences d'une ligne de défense à haute intégrité énoncées ci-dessus, un classement de base de niveau 0 serait plus approprié.⁵

Si la période d'indisponibilité d'une ligne de défense a été très courte par rapport à l'intervalle entre les essais des composants de la ligne de défense, il faudrait alors envisager de diminuer le classement de base de l'événement. Cette approche exige inévitablement plus de jugement que ce qui est indiqué à la section IV-3.2.1, mais la section V-1 fournit des indications pour des types spécifiques d'événements,

⁵ Si la disponibilité de lignes de défense se situait en dehors des exigences des LCE, les indications qui figurent à la section IV-3.3 pourraient aboutir à un classement au niveau 1.

TABLEAU V. CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS À L'AIDE DE L'APPROCHE "LIGNES DE DÉFENSE"

Conséquences potentielles maximales	INES niveaux 5, 6, 7	INES niveaux 3, 4	INES niveaux 1 ou 2
Nombre de lignes de défense subsistantes			
A Plus de 3	0 ^a	0 ^a	0 ^a
B 3	1	0 ^a	0 ^a
C 2	2	1	0 ^a
D 1 ou 0	3	2	1

^a Si la disponibilité des lignes de défense se situait en dehors des exigences des LCE, les indications de la section IV-3.3 pourraient aboutir à un classement au niveau 1.

tandis que la section V-2 donne plusieurs exemples généralisés de l'utilisation de l'approche "lignes de défense".

IV-3.2.3. Événements potentiels (y compris les défauts structurels)

Certains événements ne sollicitent pas par eux-mêmes les dispositions de sûreté mais correspondent à une probabilité de sollicitation accrue. On peut en donner comme exemples la découverte de défauts structurels, une fuite à laquelle l'intervention d'un opérateur a remédié ou des défauts découverts au niveau des systèmes de contrôle des processus. L'approche du classement de semblables événements est décrite ci-après.

Le programme de surveillance vise à identifier les défauts structurels avant qu'ils ne grandissent au point d'être inacceptables. Si le défaut ne dépasse pas la limite acceptable, le niveau 0 est approprié. Si le défaut est plus grand qu'attendu dans le programme de surveillance, on devra prendre en compte deux facteurs pour le classer.

Premièrement, il faudrait déterminer l'importance du composant défectueux pour la sûreté en supposant que le défaut a entraîné une défaillance du composant et en appliquant la partie correspondante de la section IV-3. Si l'on utilise la section IV-3.2.1 (réacteurs en régime de puissance), et si le défaut se situe dans le système de sûreté, l'application de la section IV-3.2.1.3 b) donne la limite supérieure du classement de base. 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, l'application de la section IV-3.2.1.3 a) fournit la valeur supérieure du classement de base.

Le classement potentiel ainsi obtenu est ensuite ajusté selon la probabilité d'une défaillance du composant due à ce défaut et compte tenu des facteurs supplémentaires examinés dans la section IV-3.3.

D'autres événements potentiels peuvent être évalués d'une manière analogue à celle qui vient d'être décrite. En premier lieu, il faudrait évaluer l'importance de la sollicitation potentielle en supposant qu'elle s'est réellement produite et en appliquant la partie correspondante de la section IV-3 sur la base de la disponibilité des dispositions de sûreté qui existait à ce moment-là. En deuxième lieu, le classement devrait être diminué en fonction de la probabilité que la sollicitation potentielle apparaisse comme conséquence de l'événement qui s'est réellement produit. Le niveau auquel le classement devrait être ramené est alors une question d'appréciation.

IV-3.2.4. Événements classés au niveau 0 (en dessous de l'échelle)

En général, il ne faudrait classer des événements au niveau 0 (en dessous de l'échelle) 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 IV-3.3 ne soit applicable, les types d'événements suivants sont des exemples caractéristiques de ceux qui sont à classer au niveau 0 :

- Séquence d'arrêt automatique se déroulant normalement;
- Actionnement intempestif⁶ des systèmes de sûreté sans effet sur la sûreté de la centrale et reprise normale du fonctionnement;
- Pas de dégradation importante des barrières (vitesse de fuite inférieure aux LCE);
- Défaillances uniques ou indisponibilité de composants dans un système redondant, décelées au cours d'une inspection ou d'essai périodique programmé.

IV-3.3. Prise en compte des facteurs supplémentaires

Dans certaines circonstances, différentes lignes de défense en profondeur peuvent être sollicitées simultanément; ces circonstances doivent en conséquence être

⁶ Dans ce contexte, l'expression "actionnement intempestif" s'appliquerait à l'actionnement 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, l'actionnement 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 considéré comme un actionnement intempestif du système de sûreté.

considérées comme des facteurs supplémentaires qui peuvent justifier le classement d'un événement au niveau immédiatement supérieur à celui qui a été déterminé d'après les indications précédentes.

Les principaux facteurs supplémentaires agissant de telle façon sont les suivants :

- Défaillances de cause commune;
- Procédures inadéquates;
- Lacunes dans la culture de sûreté.

En raison de ces facteurs supplémentaires, un événement pourrait être classé au niveau 1, alors qu'autrement il n'aurait eu aucune importance du point de vue de la sûreté.

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

- 1) 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. Même en tenant compte de tous les facteurs supplémentaires, le classement d'un événement ne peut être élevé que d'un niveau;
- 2) Le classement de l'événement ne devrait pas être élevé au-delà du niveau maximum obtenu conformément à la section IV-2, ledit niveau maximum ne devant être appliqué que si un accident se serait produit en cas de survenue d'un autre événement (soit un initiateur attendu, soit la défaillance d'un composant supplémentaire).

IV-3.3.1. 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 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 qui implique une défaillance de cause commune concernant un ou plusieurs composants est donc plus élevée que celle d'une défaillance aléatoire concernant les mêmes composants.

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.

IV-3.3.2. Procédures inadéquates

Plusieurs lignes de défense peuvent être sollicitées simultanément en raison de procédures inadéquates. Cette inadéquation peut donc parfois justifier un classement plus élevé sur l'échelle. On peut en donner les exemples suivants : instructions erronées ou inadéquates fournies aux opérateurs pour réagir à un événement (par exemple, lors de l'accident de Three Mile Island en 1979, les procédures que les opérateurs devaient suivre en cas d'actionnement de l'injection de sûreté n'étaient pas adaptées au cas particulier d'une perte de fluide de refroidissement en phase vapeur au niveau du pressuriseur), lacunes dans le programme de surveillance que des anomalies non décelées par les procédures normales ont mises en évidence, ou périodes d'indisponibilité de la centrale dépassant largement la durée de l'intervalle entre les essais.

IV-3.3.3. Événements en rapport avec la 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 individus, font que les questions relatives à la sûreté des centrales nucléaires bénéficient, en priorité, de l'attention qu'elles méritent en raison de leur importance". Une culture de sûreté adéquate contribue à la prévention des incidents; inversement, l'absence de culture de sûreté peut conduire les opérateurs à agir d'une façon non conforme aux hypothèses de la conception. La culture de sûreté doit donc être considérée comme faisant partie de la défense en profondeur et une culture de sûreté inadéquate peut avoir pour conséquence des défaillances de cause commune. Par conséquent, une lacune dans la culture de sûreté peut justifier d'élever d'un niveau le classement d'un événement.

Pour faire l'objet d'un niveau de classement supérieur en raison d'une insuffisance de la culture de sûreté, l'événement doit être considéré comme l'indicateur réel d'une défaillance dans la culture de sûreté globale.

Voici quelques exemples d'indicateurs :

- Transgression des LCE ou non-respect d'une procédure, sans justification (voir l'appendice V pour des informations supplémentaires sur les LCE et les spécifications techniques);
- Lacune dans le processus d'assurance de la qualité;
- Accumulation d'erreurs humaines;
- Mauvaise maîtrise des matières radioactives, y compris les rejets dans l'environnement ou une défaillance des systèmes de surveillance dosimétrique;

— Répétition d'un événement, indiquant que l'on n'a ni tiré un enseignement de ce qui s'est passé la première fois, ni pris de mesures correctives.

Il est important de noter que l'intention ici n'est pas d'entamer une évaluation longue et détaillée, mais bien de voir si ceux qui classent l'événement peuvent porter un jugement immédiat.

IV-4. DÉFINITIONS

La présente section contient les définitions de termes non définis dans d'autres publications de l'AIEA. Dans de nombreux cas, des explications plus détaillées sont données dans le présent manuel.

barrière radiologique. Barrière conçue pour empêcher la dispersion des matières radioactives au-delà de leur confinement prévu.

défense en profondeur. Selon la définition donnée dans "Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants" (Safety Series n° 75-INSAG-3 Rev.1) (voir la note 4) :

“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.”

disponibilité d'une fonction de sûreté. La disponibilité d'une fonction de sûreté peut être “totale”, “dans les limites et conditions d'exploitation”, “suffisante” ou “insuffisante” en fonction de la disponibilité de chacun des systèmes et composants de sûreté redondants et divers.

disponibilité d'un équipement. Un composant est considéré comme disponible lorsqu'il est en mesure d'exécuter la fonction requise de la manière requise.

dispositions de sûreté. Procédures, contrôles administratifs ou systèmes actifs ou passifs qui sont généralement prévus de manière redondante et dont la disponibilité est contrôlée par les LCE.

équivalence radiologique. Quantité de radionucléides qui doit être rejetée pour donner la même dose effective engagée que les quantités de référence de ^{131}I ou de

¹⁰⁶Ru sous l'angle des incidences hors du site et sur le site, calculée en utilisant le modèle présenté dans l'appendice I.

fonctions de sûreté. Les trois fonctions de sûreté fondamentales sont : a) maîtrise de la réactivité ou du déroulement des processus; b) refroidissement des matières radioactives; c) confinement des matières radioactives.

initiateur (événement initiateur). Événement identifié qui entraîne un écart par rapport à l'état d'exploitation normal et sollicite une ou plusieurs fonctions de sûreté.

ligne de défense. Disposition de sûreté qui ne peut pas être subdivisée en parties redondantes.

ligne de défense à haute intégrité. Une telle ligne devrait posséder 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 la centrale 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.

limites et conditions d'exploitation (LCE). Ensemble de règles qui fixent les limites de paramètres, les possibilités fonctionnelles et les niveaux de performance du matériel et du personnel, et qui sont approuvées par l'organisme de réglementation pour une exploitation sûre de la centrale nucléaire (dans la plupart des pays, elles sont comprises dans les "spécifications techniques").

pertinence au plan de la sûreté. Concerne la sûreté nucléaire ou radiologique.

régime d'exploitation autorisé. Voir limites et conditions d'exploitation.

systèmes de sûreté. Systèmes importants pour la sûreté, installés pour remplir des fonctions de sûreté.

zone de service. Zone à laquelle les travailleurs ont accès. Sont exclues les zones dans lesquelles des contrôles spécifiques sont exigés en raison du niveau de contamination ou d'irradiation.

zones non prévues à la conception. Zones dont la conception, pour des structures permanentes ou temporaires, ne prévoit pas qu'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 des zones non prévues à la conception :

- Contamination par des radionucléides en dehors de zones contrôlées ou surveillées, où aucune activité n'est normalement présente comme les sols, les cages d'escalier, les bâtiments auxiliaires, les zones de stockage, etc.;
- Contamination par du plutonium ou des produits de fission hautement radioactifs d'une zone conçue et équipée uniquement pour la manutention de l'uranium.

PARTIE V

EXEMPLES ILLUSTRANT LES INDICATIONS POUR LE CLASSEMENT SOUS L'ANGLE DE LA DÉFENSE EN PROFONDEUR

V-1. INDICATIONS CONCERNANT L'UTILISATION DE L'APPROCHE "LIGNES DE DÉFENSE" POUR DES TYPES PRÉCIS D'ÉVÉNEMENTS

V-1.1. Contrôle de 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 ainsi que 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 assemblages critiques de matériaux solides ont la capacité d'atteindre des pointes de puissance élevées entraînant la libération explosive d'énergie ainsi que le relâchement de grandes quantités de matières radioactives, en raison de l'endommagement important de l'installation.

Le principal risque dû à une excursion de criticité provient des champs de rayonnements intenses de neutrons vierges et de rayons gamma qui entraînent une irradiation du personnel potentiellement élevée. Une deuxième conséquence pourrait être le rejet hors du site de produits de fission à courte période et une contamination potentiellement grave à l'intérieur de l'installation. De plus, la libération explosive d'énergie due à l'excursion de criticité d'un système hétérogène pourrait également avoir pour résultat un rejet de matières fissiles. Ainsi, dans la plupart des cas, les incidences hors site et sur le site sont limitées au niveau 4. Un classement plus élevé n'est possible que lorsque des matières fissiles peuvent être rejetées par une explosion.

Selon les indications générales :

- Les petits écarts par rapport au régime de sûreté-criticité qui restent dans les LCE devraient être classés au niveau 0;

— Le fonctionnement hors du domaine des LCE devrait être classé au minimum au niveau 1.

Un événement devrait être classé au niveau 3 si un accident de criticité aux conséquences potentielles maximales de niveau 5 ou plus se serait produit si les conditions avaient été moins favorables ou si une autre défaillance des dispositions de sûreté s'était produite. Le niveau 2 serait approprié pour des événements analogues, si le potentiel pouvait seulement avoir été de niveau 3 ou 4.

Si plusieurs lignes de défense subsistent, un classement inférieur serait approprié, comme indiqué au tableau V.

V-1.2. Perte ou enlèvement de sources radioactives

La présente section concerne les événements comportant la perte ou le placement incorrect de sources radioactives scellées et non scellées dont le stockage et l'utilisation sont soumis à des contrôles administratifs. Étant donné que ces événements résultent de la défaillance des procédures de contrôle requises, un classement minimum de niveau 1 est approprié pour tous les événements comportant la perte permanente d'une source ou la découverte d'une source à un endroit inapproprié.

Si les conséquences potentielles hors du site, en cas de désintégration de la source, ne peuvent pas atteindre celles définies pour le niveau 5, mais que la dimension de la source est telle qu'une personne pourrait recevoir une dose qui entraînerait une exposition létale ou des brûlures par irradiation (autrement dit des effets adverses rapides sur la santé), la perte permanente de la source devrait être classée au niveau 2 sous l'angle de la défense en profondeur. De même, la découverte d'une telle source en dehors de la zone contrôlée, ou hors du site, en un emplacement tel que la conséquence aurait pu être des effets nocifs sur la santé, devrait être également classée au niveau 2.

Si la désintégration de la source était susceptible d'entraîner un événement de niveau 5, sa perte permanente devrait être classée au niveau 3 sous l'angle de la défense en profondeur.

V-1.3. Rejet non autorisé/dissémination de la contamination

Tout événement impliquant le transfert de contamination sur le site ou hors du site qui a pour conséquence un niveau supérieur à la limite prescrite pour la zone considérée peut justifier un classement au niveau 1 sur la base de la section IV-3.3.3 (mauvaise maîtrise des matières radioactives). Des défaillances plus importantes des dispositions de sûreté devraient être classées en tenant compte des conséquences

potentielles maximales dans l'hypothèse où toutes les dispositions de sûreté seraient défectueuses et où le nombre de lignes de défense resterait le même.

Si une contamination significative hors du site n'est pas possible, le classement maximal sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 2. Les transgressions des autorisations de rejet devraient être classées au moins au niveau 1.

V-1.4. Surveillance dosimétrique

Il peut arriver occasionnellement que les procédures de surveillance radiologique et les dispositions administratives soient inadéquates et que des employés subissent une irradiation non concertée (externe ou interne). Ces événements peuvent justifier un classement de niveau 1 selon la section IV-3.3.3 (mauvaise maîtrise des matières radioactives). Si l'événement a pour conséquence une dose cumulée dépassant les limites prescrites, il devrait être classé au moins au niveau 1 car il y a transgression des LCE.

Le niveau 2 serait approprié sous l'angle de la défense en profondeur si les conséquences potentielles maximales en cas de défaillance des dispositions de sûreté sont de niveau 3 ou 4 et qu'une seule ligne de défense subsiste. En général, les indications de la section IV-3.3 ne devraient pas servir à élever d'un niveau les événements liés à une défaillance de la surveillance dosimétrique depuis un classement de base de niveau 1. Dans le cas contraire, des événements pour lesquels l'irradiation a été évitée seraient classés au même niveau que ceux pour lesquels des doses significatives dépassant les doses limites ont été effectivement reçues.

V-1.5. Verrouillage des portes des casemates

L'entrée par inadvertance dans des zones normalement actives est, en général, évitée au moyen de systèmes de verrouillage des portes d'entrée actionnés par les rayonnements, de procédures basées sur des autorisations d'entrée et de contrôles des débits de dose de rayonnements préalables à l'entrée.

La défaillance du verrouillage de protection d'une porte biologique peut être la conséquence d'une perte de l'alimentation électrique et/ou de défauts soit dans le(s) détecteur(s), soit dans l'appareillage électronique auxiliaire.

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 devraient être classés au niveau 2. Les événements pour lesquels des lignes de défense supplémentaires subsistent, y compris les dispositions administratives qui régissent l'accès, devraient être classés au niveau 1.

V-1.6. Défaillances des systèmes de régulation de pression, de filtration et d'épuration

Trois systèmes distincts mais interdépendants de régulation de pression sont normalement prévus pour maintenir un gradient de pression entre les 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 rétrodispersion de matières radioactives. En outre, des systèmes d'épuration, tels que des filtres à très haute efficacité (THE) ou des laveurs, sont prévus pour que les rejets dans l'atmosphère soient ramenés à des valeurs inférieures aux limites prédéterminées et éviter la rétrodispersion vers des zones de moindre activité.

La première étape du classement des événements associés à la perte de ces systèmes consiste à déterminer les conséquences potentielles maximales tant sur le site que hors du site dans l'hypothèse où toutes les dispositions de sûreté seraient défaillantes. Il faudrait tenir compte de la quantité de matières présentes et des voies de dispersion possibles à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation. Il faut aussi envisager la possibilité de diminution de la concentration des gaz inertes ou l'accumulation 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 3; en conséquence, le maximum sous l'angle de la défense en profondeur serait le niveau 2.

La deuxième étape consiste à identifier l'efficacité des dispositions de sûreté qui subsistent, 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 les exemples 16 et 17 de la section V-3.

V-1.7. Incidents de manutention et chute de charges lourdes

V-1.7.1. Événements ne mettant pas en jeu des assemblages combustibles

Les effets d'incidents de manutention ou de défaillances du matériel de levage dépendent des matières en jeu, de la zone dans laquelle l'incident s'est produit et de l'équipement qui a été ou pourrait avoir été touché.

Les événements pour lesquels la chute d'une charge pourrait entraîner un déversement de matières radioactives (soit à partir de la charge elle-même, soit à partir des tuyauteries ou des réservoirs touchés) devraient être classés en fonction des conséquences potentielles maximales et de la probabilité d'un tel déversement. Les incidents pour lesquels la chute d'une charge n'entraîne que des dommages limités, mais présente une probabilité relativement élevée de causer un accident devraient être

classés au niveau maximal sous l'angle de la défense en profondeur. De même, les événements pour lesquels une seule ligne de défense subsiste, ladite ligne n'étant pas considérée comme étant d'une fiabilité/intégrité particulièrement élevée, devraient aussi être classés au niveau maximal.

Les incidents dont la probabilité est inférieure ou pour lesquels des lignes de défense supplémentaires existent devraient être classés selon les indications de la section IV-3.2.2. Les incidents de manutention mineurs attendus pendant toute la durée de vie de l'installation devraient être classés au niveau 0.

V-1.7.2. Défaillances de manutention du combustible

Les événements qui surviennent pendant la manutention d'éléments combustibles à l'uranium non irradiés sans implications significatives pour la manutention de combustibles irradiés devraient en général être classés au niveau 0 s'il n'y a pas eu de risque d'endommagement d'éléments combustibles usés ou d'équipements liés à la sûreté.

La quantité de matières radioactives d'un seul élément combustible est évidemment nettement inférieure à la quantité présente dans la piscine à combustible usé ou dans le cœur du réacteur. Aussi longtemps que le refroidissement de l'élément combustible usé est garanti, l'intégrité de la matrice du combustible n'est pas menacée par une surchauffe, ce qui constitue une ligne de défense importante. En général, la surchauffe du combustible 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 la centrale qui sont sans influence sur le refroidissement des éléments combustibles usés et n'entraînent qu'un rejet mineur ou pas de rejet du tout devraient être généralement classés au niveau 0.

Le niveau 1 devrait être envisagé pour les événements impliquant :

- Des événements non attendus pendant la durée de vie de la centrale;
- Une exploitation en dehors des LCE;
- Une dégradation limitée du refroidissement sans incidence sur l'intégrité des aiguilles combustibles;
- Des dommages mécaniques à l'intégrité des aiguilles combustibles sans dégradation du refroidissement.

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

V-1.8. Perte de l'alimentation électrique

Dans de nombreuses centrales, 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. On prévoit plusieurs circuits indépendants et divers moyens d'alimentation pour empêcher les défaillances de cause commune. La plupart des centrales sont automatiquement mises à l'arrêt dans un état sûr en cas de perte de réseau, mais, dans certaines centrales, des dispositions de sûreté supplémentaires, comme l'utilisation de gaz inerte, sont prévues.

Pour certaines centrales, il n'y a pas d'effet négatif sur la sûreté même en cas de perte de réseau d'une durée de plusieurs jours; de tels événements dans ces installations devraient être généralement classés au niveau 0 ou 1 étant donné que plusieurs moyens devraient être disponibles pour restaurer l'alimentation électrique dans le temps imparti. Le niveau 1 serait approprié si la disponibilité des systèmes de sûreté était en dehors des LCE.

Pour classer les événements impliquant une perte de réseau ou des défaillances dans les systèmes d'alimentation sur le site, il faut appliquer les indications générales de la section IV-3.2.2 en tenant compte de la mesure dans laquelle une alimentation subsiste, de la durée pendant laquelle l'alimentation a été indisponible et des conséquences potentielles maximales. Il est particulièrement important de tenir compte du délai maximal acceptable de rétablissement de l'alimentation.

La perte partielle de l'alimentation électrique ou une perte de réseau avec une alimentation disponible à partir de systèmes de secours est prévue pendant la durée de vie de la centrale et devrait donc être classée en dessous de l'échelle.

V-1.9. Incendies et explosions

Un incendie ou une explosion dans l'installation ou à proximité immédiate de celle-ci qui ne dégrade aucune des dispositions de sûreté devrait être classé au niveau 0 (en dehors de l'échelle). Les incendies éteints au moyen de systèmes de protection installés, fonctionnant comme prévu, devraient être également classés au niveau 0.

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 entreprises. Le classement dépend des conséquences potentielles maximales hors du site ou sur le site, et du nombre et de l'efficacité des lignes de défense qui subsistent, y compris les barrières et les systèmes de sûreté. Pour évaluer l'efficacité des lignes de défense qui subsistent il faudrait tenir compte de la probabilité qu'elles aient été dégradées. Tout incendie ou explosion impliquant des déchets de faible activité devrait être classé au

niveau 1 en raison de l'inadéquation des procédures ou des lacunes dans la culture de sûreté.

V-1.10. Risques extérieurs

Les risques tels que tremblements de terre, tornades ou explosions peuvent être classés de la même manière que d'autres événements en fonction de l'efficacité des dispositions de sûreté qui subsistent. Pour les événements impliquant des défaillances de systèmes spécifiquement conçus pour une protection contre les risques, il faudrait déterminer le nombre de lignes de défense, y compris la probabilité que le risque se concrétise alors que le système est indisponible. Étant donné la faible fréquence attendue de ces risques, un classement supérieur au niveau 1 ne serait guère approprié.

V-1.11. Événements durant le transport

Comme pour de nombreux événements, il est très important de déterminer les conséquences potentielles maximales et donc le classement maximal sous l'angle de la défense en profondeur. Les règlements de transport fixent l'activité maximale par colis, envoi ou véhicule. Cette activité maximale peut être liée au paramètre A_2 , qui correspond à la teneur radioactive spécifique maximale du nucléide autorisée dans un colis de type A si les matières ne sont pas sous forme spéciale. Il est donc possible de lier l'activité transportée en fonction de la valeur A_2 applicable aux conséquences potentielles maximales sur l'échelle en supposant un rejet de la totalité du contenu et au niveau maximal sous l'angle de la défense en profondeur. Le tableau VI illustre la relation entre l'activité transportée et les conséquences qui devrait servir d'orientation pour le classement des événements de transport entraînant des rejets dans l'atmosphère⁷.

Sur la base de ce qui précède et des principes généraux pour le classement des événements par application de l'approche "lignes de défense", les indications spécifiques données dans le tableau VII peuvent être utilisées pour des cas particuliers. Pour d'autres cas, le classement devra tenir compte de l'adéquation des dispositions de sûreté qui subsistent en recourant aux indications générales.

⁷ Les indications INES sur l'équivalence radiologique concernent uniquement les rejets dans l'atmosphère. Il n'est pas possible de donner des indications génériques sur l'équivalence pour les rejets dans l'eau.

TABLEAU VI. RELATION ENTRE L'ACTIVITÉ TRANSPORTÉE ET LE CLASSEMENT MAXIMAL

Activité transportée	Conséquences potentielles maximales (dans l'hypothèse d'un rejet de la totalité du contenu)	Classement maximal sous l'angle de la défense en profondeur
Supérieure à 100 A ₂	Niveaux 5-7	3
De A ₂ à 100 A ₂	Niveaux 3-4	2
Inférieure à A ₂	Niveau 2	1

TABLEAU VII. CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS DE TRANSPORT

Diminution des lignes de défense	Activité transportée par colis		
	< A ₂	A ₂ – 100 A ₂	> 100 A ₂
<i>Événements n'impliquant pas un accident de transport</i>			
Subsistance d'une seule disposition de sûreté ^a	0	1	2
Aucune disposition de sûreté ne subsiste (p.ex. colis inadéquat)	1	2	3
Perte du colis			
<i>Événements impliquant un accident de transport</i>			
Pas de dégradation des dispositions de sûreté	0	0	0
Dégradations importantes des dispositions de sûreté ^a (subsistance d'une seule disposition de sûreté ou aucune disposition de sûreté ne subsiste)	1	2	3

^a À moins que la disposition ne réponde aux exigences d'une ligne de défense à haute intégrité.

V-1.12. Défaillances dans les systèmes de refroidissement

V-1.12.1. Événements pendant l'arrêt du réacteur

La plupart des systèmes de sûreté des réacteurs sont conçus pour des initiateurs se produisant pendant l'exploitation en régime de puissance. Les événements qui

surviennent pendant l'arrêt ou le démarrage à chaud sont assez semblables aux événements qui se produisent pendant l'exploitation en régime de puissance et devraient être traités selon les indications de la section IV-3.2.1. Une fois que le réacteur est à l'arrêt, certains systèmes de sûreté sont encore nécessaires pour assurer les fonctions de sûreté, mais l'on dispose généralement de plus de temps avant le rejet éventuel des matières présentes dans le cœur.

D'autre part, le temps imparti pour des actions manuelles visant à prévenir une augmentation importante de la température du combustible et un rejet de produits de fission radioactifs peut compenser une partie des dispositions de sûreté en termes de redondance ou de diversité, c'est-à-dire qu'en fonction de 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. À l'arrêt, les configurations des barrières sont quelquefois très différentes (par exemple circuit de refroidissement primaire et confinement ouverts).

Certains exemples applicables aux réacteurs à eau sous pression sont présentés à la section V-2 de manière à fournir des indications pour le classement d'événements pendant un arrêt à froid selon l'approche "lignes de défense". Ce classement tient essentiellement compte du temps imparti pour les actions correctives et du nombre de lignes de défense non touchées. Pour d'autres types de réacteurs, il faudra, pour classer ce type d'événement, s'orienter sur ces indications en même temps que sur les principes généraux.

V-1.12.2. Événements concernant la piscine à combustible usé

Après quelques années d'exploitation, la quantité de matières radioactives se trouvant dans la piscine à combustible usé peut être importante. Dans ce cas, les événements la concernant peuvent être classés, sous l'angle de la défense en profondeur, à tous les niveaux possibles, depuis "en dessous de l'échelle" jusqu'à 3.

En raison de la grande quantité d'eau et de la chaleur de désintégration relativement faible, 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. Ceci est également vrai d'une perte d'eau de la piscine, car les fuites sont ici limitées par la conception. Par conséquent, une défaillance de quelques heures du système de refroidissement de la piscine ou une fuite d'eau n'auront généralement pas d'effet sur le combustible usé. Les dégradations peu importantes du système de refroidissement de la piscine ou les petites fuites seront donc en général classées au niveau 0.

En cas de fonctionnement en dehors des LCE, de forte augmentation de la température ou de baisse du niveau de l'eau de la piscine, l'événement devrait être classé au niveau 1. Le niveau 2 peut être attribué à un commencement de dénoyage des éléments combustibles. Un dénoyage important accompagné d'une élévation de la température doit être manifestement classé au niveau 3.

V-1.12.3. *Autres installations*

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 du temps imparti acceptable avant que le rétablissement du refroidissement ne soit requis.

Dans le cas de défaillances des systèmes de refroidissement de déchets liquides de haute activité ou d'un entreposage de plutonium, le niveau 3 serait probablement approprié pour les événements pour lesquels une seule ligne de défense subsiste pendant une durée significative.

V-2. EXEMPLES ILLUSTRANT L'APPLICATION DE L'APPROCHE "LIGNES DE DÉFENSE"

Pour illustrer l'application des indications de la section IV-3.2.2, plusieurs exemples concernant le refroidissement d'un réacteur à l'arrêt sont commentés ci-après.

Exemple 1

Description de l'événement

Dans ce premier exemple, le refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) est obtenu par la circulation du fluide de refroidissement à travers un échangeur de chaleur, par l'intermédiaire d'un tuyau d'aspiration unique doté de deux vannes d'isolement. Le circuit primaire est fermé. Si les vannes d'isolement sont fermées, la température du fluide de refroidissement augmente, mais il faut environ une heure pour atteindre un niveau inacceptable. Les vannes peuvent être actionnées à partir de la salle de commande. Des générateurs de vapeur sont ouverts pour travaux et sont donc indisponibles. L'injection de sûreté n'est pas disponible, les pompes du circuit d'injection de sécurité à haute pression sont distinctes des pompes de charge et les vannes de décharge sont disponibles pour la régulation de la pression du circuit primaire. L'événement à classer est un événement pour lequel un fonctionnement intempestif des capteurs de pression a entraîné la fermeture des vannes d'isolement. Les alarmes de la salle de commande ont averti l'opérateur de la fermeture des vannes. Après avoir vérifié que l'augmentation de pression était un signal intempestif, l'opérateur a rouvert les vannes. La température est restée dans les LCE.

Justification du classement

Les conséquences potentielles maximales liées à la perte de refroidissement dépassent le niveau 4; en conséquence, le classement maximal sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 3. La fonction de sûreté en jeu est le refroidissement du combustible. En dernière analyse, la seule ligne de défense qui assure le refroidissement est le fluide de refroidissement primaire par le tuyau d'aspiration RRA unique, c'est-à-dire qu'il n'existe qu'une ligne de défense.

Il est donc nécessaire d'analyser l'intégrité de cette ligne de défense unique pour ce qui est des aspects matériels et logiciels. S'agissant d'abord des interventions nécessaires de l'opérateur, pour rétablir le refroidissement, celui-ci doit s'assurer que le signal de pression est intempestif et, si l'augmentation de la température du fluide de refroidissement a entraîné une augmentation de pression, réduire la pression. Une procédure de rétablissement du RRA après la fermeture des vannes existe bien. L'opération peut être réalisée dans le délai imparti, mais sans marge importante. Étant donné les aspects 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.

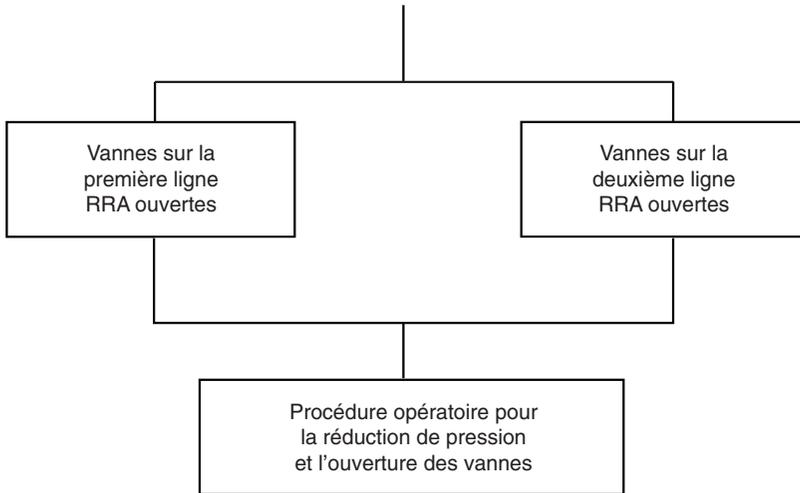
C'est pourquoi on ne considère pas que la ligne unique soit une ligne de défense à haute intégrité, même si c'est la seule prévue par la conception. La nécessité de rouvrir les deux vannes d'isolement pour rétablir l'alimentation limite manifestement l'intégrité de la ligne de défense. Un tel événement dans une centrale de la conception décrite serait donc de niveau 3.

Exemple 2*Description de l'événement*

Dans cet exemple, la conception est légèrement modifiée par rapport à l'exemple 1. On dispose maintenant de deux lignes RRA distinctes, dont chacune possède deux vannes d'isolement, les vannes de chaque ligne étant connectées à des capteurs de pression distincts. L'événement est identique si ce n'est que l'augmentation de pression est réelle.

Justification du classement

En ce qui concerne le matériel, il y a à présent deux lignes. Toutefois, pour l'une et l'autre il faut encore que l'opérateur rouvre les vannes. Les dispositions de sûreté peuvent être illustrées comme suit :



La fiabilité des dispositions de sûreté est limitée par le besoin d'intervention de l'opérateur. Comme l'opération est complexe et que le temps imparti 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. Ici encore, le niveau 3 sera donc considéré comme approprié.

Exemple 3

Description de l'événement

La conception pour cet exemple est la même que pour l'exemple 2. Toutefois, l'événement est supposé se produire un certain temps après l'arrêt du réacteur. On suppose que l'on dispose de cinq heures pour les interventions requises.

Justification du classement

Comme auparavant, il y a deux lignes de défense matérielles et une ligne logicielle en série, mais l'on dispose de beaucoup plus de temps pour exécuter les interventions requises. L'intervention possible de l'opérateur peut donc être considérée comme une ligne de défense à haute intégrité. L'aspect limitatif des dispositions de sûreté est à présent constitué par les deux lignes matérielles. L'existence de deux lignes de défense matérielles signifie que l'événement devrait être classé au niveau 2.

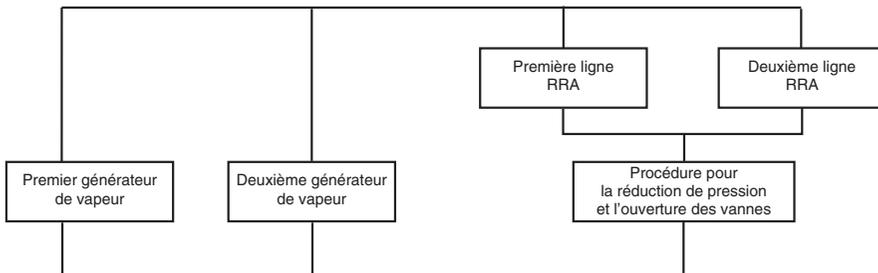
Exemple 4

Description de l'événement

Dans cet exemple, la conception est la même que pour l'exemple 2, mais deux générateurs de vapeur sont également disponibles. L'événement à classer est également le même que pour l'exemple 2.

Justification du classement

Il existe à présent quatre lignes matérielles, mais en outre la disponibilité des générateurs de vapeur fournit des délais beaucoup plus longs pour les interventions exigées de l'opérateur et donne suffisamment de temps pour exécuter les réparations. Les dispositions de sûreté sont illustrées ci-après. En raison des délais plus longs, les quatre lignes peuvent être considérées comme pleinement efficaces et un classement au niveau 0 est considéré comme approprié :



Exemple 5

Description de l'événement

Cet exemple est similaire à l'exemple 1, mais intervient une semaine après l'arrêt, alors que la cavité est ouverte et inondée. La perte de RRA n'entraîne plus qu'un échauffement très lent du fluide de refroidissement primaire, ce qui laisse une dizaine d'heures à l'opérateur pour agir.

Justification du classement

S'agissant de la fonction de sûreté "refroidissement du combustible", il existe à présent deux lignes de défense. La première est le circuit RRA, la deuxième est la

possibilité d'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. La deuxième ligne peut être considérée comme une ligne à haute intégrité pour les raisons suivantes :

- L'opérateur dispose de beaucoup de temps pour intervenir;
- Il existe un certain nombre de moyens d'ajouter de l'eau (injection de sécurité basse pression, tuyaux d'incendie, etc.), encore que la concentration en bore doive être contrôlée;
- Cette ligne de défense est reconnue dans la justification de sûreté comme une caractéristique de sûreté clé.

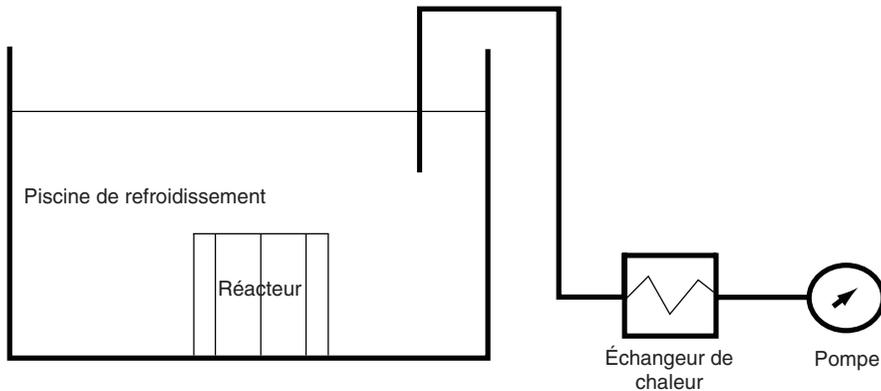
En outre, le temps imparti est tel que la première ligne a une intégrité supérieure à celle supposée dans l'exemple 1 étant donné qu'il y a suffisamment de temps réparer. Dans ce cas, le transitoire de température permet de calculer le temps écoulé et le temps disponible. Les indications qui suivent peuvent donc s'appliquer :

- Des modifications mineures de la température du fluide de refroidissement devraient normalement être classées en dessous de l'échelle;
- Le dépassement des températures maximales admissibles du fluide de refroidissement ou des différences de température (par rapport au temps) spécifiées dans les LCE devrait être classé au niveau 1;
- Un échauffement important du fluide de refroidissement, par exemple une ébullition massive, devrait être classé au niveau 2;
- Le début d'un dénoyage significatif des éléments combustibles devrait généralement être classé au niveau 3.

Exemple 6

Description de l'événement

Cet exemple est basé sur un réacteur de recherche de 100 kW avec une piscine de refroidissement de grandes dimensions et un échangeur de chaleur/purificateur, selon l'illustration ci-après. En cas de perte du refroidissement, tout échauffement de l'eau sera extrêmement lent.



L'événement à classer est un événement dans lequel la tuyauterie en aval de la pompe a été défaillante, le fluide de refroidissement étant pompé vers le bas du tuyau d'aspiration. La pompe est ensuite tombée en panne en raison d'un phénomène de cavitation.

Justification du classement

Deux fonctions de sûreté doivent être analysées : le refroidissement du combustible et la protection destinée à empêcher des doses élevées aux travailleurs. Il faut d'abord examiner les conséquences potentielles maximales dans l'hypothèse où toutes les lignes de défense sont défaillantes. Pour les deux fonctions de sûreté, vu la faible quantité de matières présentes, les conséquences potentielles maximales ne peuvent pas dépasser le niveau 4 et donc le maximum sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 2. S'agissant de la fonction "refroidissement", il existe trois lignes de défense : l'échangeur de chaleur, le volume important d'eau dans la piscine et la possibilité de refroidir le combustible dans l'air. L'aspiration a été délibérément conçue de manière qu'un volume d'eau important reste dans la piscine en cas de défaillance du tuyau. En outre, il est évident que la principale ligne de défense est le volume de l'eau. Celle-ci peut donc être considérée comme une ligne à haute intégrité pour les raisons suivantes :

- L'apport de chaleur est faible par rapport au volume d'eau de sorte que tout échauffement sera extrêmement lent. Il faudrait plusieurs jours pour que le niveau d'eau diminue de manière significative;
- Toute diminution du niveau d'eau serait facilement détectée par l'opérateur et le niveau d'eau pourrait être simplement rétabli de plusieurs manières;
- La justification de la sûreté de la centrale identifie ceci comme la ligne de défense clé et démontre son intégrité. Le tuyau d'aspiration vers l'échangeur de

chaleur a été soigneusement conçu de façon qu'un niveau d'eau adéquat subsiste.

De ce fait, 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 sûreté "protection", une seule ligne de défense subsiste, mais cette ligne est à haute intégrité et donc le classement de base est considéré comme de niveau 0.

V-3. EXEMPLES TRAITÉS SUR LA BASE D'ÉVÉNEMENTS RÉELS

V-3.1. Exemples de l'approche "initiateur"

Exemple 1 : Arrêt d'urgence du réacteur à la suite d'une chute de barres de commande – niveau 0

Description de l'événement

La tranche fonctionnait à la puissance nominale. Lors de l'insertion des barres de sécurité (groupe A) à l'occasion d'un essai de contrôle périodique des barres de commande, le réacteur a subi un arrêt d'urgence sur signal "gradient de flux négatif", lequel a également provoqué le déclenchement automatique du turbo-alternateur. Le fonctionnement des barres de commande a été vérifié immédiatement sur l'indicateur de position des barres de commande. On a constaté que les quatre barres de commande (groupe A) étaient tombées avant la mise à l'arrêt du réacteur.

Une inspection du circuit commandant le mécanisme de commande des barres a révélé que cette anomalie était due à une carte de régulation défectueuse (carte de circuits imprimés). La carte défectueuse a ensuite été remplacée par une carte de réserve et, après vérification de l'intégrité du circuit de commande, le fonctionnement a repris à la puissance nominale.

Justification du classement

Les critères liés aux incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement. La descente accidentelle de barres de commande ne sollicite pas les systèmes de sûreté et n'est donc pas un initiateur. L'arrêt d'urgence du réacteur est un initiateur (attendu), et la fonction de sûreté "refroidissement du combustible" était totalement disponible. Conformément à la section IV-3.2.1.3 a), la case A1 du tableau est celle qui convient. Il n'y a aucune raison de reclasser l'événement à un niveau plus élevé, en sorte que le niveau 0 a été retenu.

Exemple 2 : Fuite de fluide de refroidissement 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 de fluide de refroidissement primaire de 1,4 t/h s'est produite dans le compartiment de chargement. Les opérateurs ont déterminé que le dispositif de chargement de droite s'était affaissé de 40 cm. Le réacteur a été mis à l'arrêt et refroidi. La pression du fluide a été maintenue par transfert à partir d'autres tranches et reprise 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.

Justification du classement

Les critères liés aux incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement.

Bien qu'une très petite fuite de fluide de refroidissement primaire se soit produite, les fonctions de sûreté n'ont pas été sollicitées, l'intervention des opérateurs ayant permis de maintenir la quantité d'eau présente au même niveau. Si la fuite s'était transformée en petit APRP, toutes les fonctions de sûreté requises auraient été totalement disponibles. Le niveau 0 est donc celui qui convient.

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. En outre, ce défaut était connu avant que l'événement ne se produise. C'est pourquoi l'événement a été reclassé au niveau 1 (voir la section IV-3.3).

Exemple 3 : 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 arrêter ses deux réacteurs 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 des essais de ce genre. 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^{er} novembre, on a 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. On a cependant reconnu que cette erreur s'était produite à la fin d'une période d'essais plus longue que de coutume (à cause de la recherche de pannes) et qu'un système plus formel de comptes rendus sur les actions accomplies pourrait être très utile.

Justification du classement

Les critères liés aux incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement.

Il n'y a pas eu apparition d'un initiateur, et la disponibilité de la fonction de sûreté "confinement" était dégradée. Cette disponibilité était inférieure au "minimum exigé par les LCE", mais supérieure à ce qui est simplement suffisant, étant donné qu'une diversité de systèmes était disponible. L'initiateur qui aurait sollicité la fonction de sûreté dégradée était un APRP majeur (improbable). Conformément à la section IV-3.2.1.3 b), c'est la case C3 du tableau qui convient. La défaillance a été provoquée par une erreur humaine, mais il n'est pas jugé approprié de reclasser l'événement à un niveau plus élevé à cause d'une lacune dans la culture de sûreté. (Dans l'appendice III, il est expliqué qu'en choisissant le niveau 1 et non pas 0 pour le classement de base on avait déjà tenu compte du fait que les LCE n'avaient pas été respectées.)

Exemple 4 : Fuite d'eau dans le 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 circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) 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 été actionnée. Le niveau a baissé dans le réservoir de contrôle volumétrique, ce qui indiquait une fuite

de fluide de refroidissement primaire dont le débit était estimé à 1,5 m³/h. L'opérateur est entré dans le bâtiment du réacteur afin de pouvoir situer la fuite. Il a conclu que la fuite provenait de la tige d'une vanne du circuit de refroidissement du réacteur (vanne manuelle située sur la ligne de contournement de la canne pyrométrique). L'opérateur a vérifié si la vanne était étanche en la mettant en position fermée au moyen du volant de manœuvre (malgré cela, la vanne n'était pas encore correctement positionnée). La fuite a continué, et le personnel de maintenance, appelé à 18 heures, n'a pas non plus été en mesure d'en trouver l'origine.

Pendant ce temps-là, la pression et la température ont continué d'augmenter à l'intérieur du réservoir de décharge du pressuriseur. L'opérateur a maintenu la température au-dessous de 50°C en procédant à des opérations d'injection et de soutirage, c'est-à-dire à des injections d'eau d'appoint froide et à des transferts vers le réservoir des drains primaires. Deux pompes installées en parallèle évacuent ces effluents hors du bâtiment réacteur vers le réservoir du circuit de traitement des effluents liquides primaires.

Vers 21 heures, les activimètres ont indiqué que la radioactivité augmentait dans le bâtiment réacteur. À 21 h 56, le point de consigne pour l'isolement partiel de l'enceinte a été atteint, ce qui a entraîné notamment la fermeture des vannes à l'intérieur de celle-ci sur le circuit des purges et événements de l'îlot nucléaire. Il n'a plus été possible alors de diriger les effluents vers le circuit de traitement des effluents liquides primaires. 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. Afin de maintenir la température à 50°C environ dans le réservoir de décharge du pressuriseur, il a fallu continuer à apporter un appoint d'eau jusqu'à 23 h 36. À 1 h 45 du matin, les niveaux d'activité à l'intérieur du bâtiment réacteur sont tombés au-dessous du point de consigne pour l'isolement de l'enceinte.

À 2 h 32, le circuit primaire de refroidissement était à une pression de 25 bars; la tranche a été mise dans les conditions d'arrêt intermédiaire avec évacuation de la chaleur par les générateurs de vapeur; le système RRA 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

Les incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement. Il n'y a pas eu d'apparition d'un initiateur 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 IV-3.2.1.1). Le niveau 0 est donc celui qui convient.

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 IV-3.3).

Exemple 5 : Perte de circulation forcée du gaz pendant 15 à 20 minutes – niveau 2

Description de l'événement

Un défaut sur une phase des alimentations de l'instrumentation du réacteur 1 n'a pas été éliminé automatiquement et a persisté jusqu'à ce que les alimentations soient basculées manuellement. Ce défaut a provoqué la fermeture des vannes de déclenchement 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 barres était possible et a été tentée, mais elle a été effectuée à une vitesse insuffisante pour empêcher que l'élévation des températures ne provoque un arrêt d'urgence automatique du réacteur 1 sur température absolue élevée des éléments combustibles (élévation d'environ 16°C). Il est apparu à l'opérateur que tous les systèmes de commande des barres avaient été rendus indisponibles. L'accumulateur a 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 alimentations 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 par l'intervention de l'opérateur 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

Les critères liés aux incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement. 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 au niveau 0. Il y a lieu de souligner que, bien que le premier incident dans l'événement soit une défaillance au niveau 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 par conséquent l'initiateur. Le second initiateur a été l'arrêt d'urgence du réacteur et le ralentissement des soufflantes à gaz entraînées par la vapeur. Cela a sollicité la fonction de sûreté "refroidissement du combustible". La disponibilité de cette fonction de sûreté était inférieure au "minimum exigé par les LCE", car aucun des moteurs de lancement n'a pu être démarré, mais plus qu'adéquate 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. La case C1 du tableau de la section IV-3.2.1.3 a) est appropriée, ce qui donne un classement au niveau 2 ou 3. Comme expliqué dans cette section, le niveau choisi dépend de la mesure dans laquelle la disponibilité est supérieure à ce qui est simplement adéquat. Dans le cas de l'événement considéré, 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.

En ce qui concerne un reclassement éventuel, deux points, évoqués à la section IV.3.3, 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 IV-3.3, point a)). 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 c) de la section IV-3.3, le niveau 3 ne conviendrait pas étant donné qu'une nouvelle défaillance unique d'un autre composant n'aurait pas conduit à un accident.

Exemple 6 : Chute d'un assemblage combustible lors du rechargement – niveau 1

Description de l'événement

Lors d'un rechargement, après levage de l'assemblage combustible de sa cellule, 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 château 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

Les incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement. Bien que l'événement ait seulement mis en jeu du combustible non irradié, il aurait pu se produire avec du combustible irradié. Il faut en tenir compte pour le classement des incidences sur la défense en profondeur. La chute d'un seul assemblage combustible est identifiée comme un initiateur éventuel dans l'appendice IV; selon la section IV-3.2.1.3, un classement au niveau 1 est approprié étant donné que les systèmes de sûreté prévus étaient pleinement disponibles (case A2 du tableau). L'application des indications de la section V-1.7.2 donnerait le même classement. Il n'y a pas de raison de relever le niveau de l'événement.

Exemple 7 : Obstruction partielle de la prise d'eau d'une tranche et perte de réseau de la tranche jumelle en période de froid – niveau 3

Description de l'événement

Il s'est produit deux événements ayant la même cause : une obstruction partielle de la prise d'eau de la tranche 1 et, deux heures après, une perte de réseau à la tranche 2. Pour simplifier l'exemple, on ne considérera que les incidences sur la tranche 2. Ce double incident a pour origine le froid qui régnait dans la région à ce moment-là : des glaçons obturaient la prise d'eau, et les basses températures ont contribué au déclenchement de la partie classique, suivi d'une baisse de la tension sur le réseau de transport.

L'obstruction de la station de pompage de la tranche 1 aurait pu se produire comme suit : de la glace a probablement glissé sous la drome atteignant les grilles de la station de pompage de la tranche 1. Par suite de la persistance du gel, les glaçons 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 brute 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 turbo-alternateurs 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 turbo-alternateurs principaux 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 turbo-alternateur auxiliaire n'ait été disponible sur le site (situation prévue dans les règles générales d'exploitation) et que les seules alimentations électriques disponibles aient été le réseau de transport et les deux groupes turbo-alternateurs

principaux de la tranche. À partir de 10 h 55, lorsqu'un deuxième turbo-alternateur auxiliaire a été rebranché à son tableau, deux turbosoufflantes ont été alimentées par les turbo-alternateurs auxiliaires en service et les deux autres turbosoufflantes par l'une des deux lignes de 400 kV.

À 11 h 43, à la suite de la baisse de tension dans le réseau de transport, les deux groupes turbo-alternateurs principaux de la tranche 2 se sont déclenchés presque simultanément (échec de l'ilotage), en provoquant la chute des barres 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 turbo-alternateurs 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

Les incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement. 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 eu aucun initiateur, mais la fonction de sûreté "refroidissement du combustible" a été dégradée. La disponibilité de la fonction de sûreté était insuffisante étant donné qu'il n'y avait aucune alimentation électrique interne pour compenser une perte de réseau (initiateur attendu). Selon la section IV-3.2.1.3 b), la case D1 du tableau convient, ce qui donne le niveau 3.

Bien que l'indisponibilité ait été brève (une heure), la probabilité d'une perte de 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.

Exemple 8 : 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. Le facteur d'étalonnage employé 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 réétalonnés à la valeur correcte pour le fonctionnement à pleine puissance. L'efficacité de déclenchement de ce paramètre pour les deux systèmes d'arrêt a donc été réduite pendant six heures environ.

Justification du classement

Les incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement. Il n'y a pas eu d'initiateur, mais la disponibilité du système de protection a été réduite. Sa disponibilité était inférieure au "minimum autorisé par les LCE", mais supérieure à ce qui est juste suffisant, 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. La protection était nécessaire pour les initiateurs "attendus". Selon la section IV-3.2.1.3 b), la case C1 du tableau I donne le niveau 1 ou 2, et l'on a retenu le niveau 1 parce que la disponibilité était très supérieure à ce qui est juste suffisant.

Pour ce qui est d'une éventuelle modification du classement de base, il faut tenir compte du fait que le défaut 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.

Exemple 9 : 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 l'on a constaté qu'elles étaient disponibles.

Justification du classement

La justification donnée ici convient pour le classement de l'événement après que les essais supplémentaires effectués eurent montré que deux voies étaient effectivement disponibles.

Les incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement. Il n'y a pas eu d'initiateur, mais la fonction de sûreté "refroidissement du

combustible” a été dégradée. La disponibilité n’était pas inférieure au “minimum autorisé par les LCE”, étant donné que deux voies sont restées disponibles. Selon la section IV–3.2.1.3 b), la case A1 du tableau I donne donc un classement de base au niveau 0. Toutefois, les opérateurs n’ont pas respecté les spécifications techniques et, conformément aux indications données à la section IV–3.3, l’événement a été reclassé au niveau 1.

Exemple 10 : 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

Selon la section IV–3.2.3, si le défaut avait entraîné la défaillance du composant, un APRP majeur (initiateur improbable) aurait eu lieu. Si l’on recourt à la section IV–3.2.1.3 a), la case A3 du tableau donne une valeur supérieure au classement de base au niveau 2. Étant donné qu’une seule fuite s’est produite (sans défaillance effective de la tuyauterie), le classement devrait être diminué d’un niveau. Toutefois, comme les défauts pourraient avoir entraîné une défaillance de mode commun de toutes les lignes d’injection de sûreté, le classement a été relevé au niveau 2.

Exemple 11 : Arrêt d’urgence du réacteur provoqué par des perturbations de réseau dues à une tornade – niveau 3

Description de l’événement

Le réacteur fonctionnait de manière stable à puissance nominale. Une tornade a endommagé les lignes de transmission. Le réacteur a été arrêté d’urgence par un système de protection en raison des oscillations de fréquence importantes 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 de réseau s'est produite. Une demi-heure plus tard, l'alimentation par le réseau a été rétablie. Pendant le transitoire, l'état du cœur a été surveillé à l'aide de l'instrumentation prévue à la conception.

Justification du classement

Les incidences hors du site et sur le site ne sont pas applicables pour le classement. L'événement a été classé en fonction des incidences sur la défense en profondeur. Un initiateur réel s'est produit avec perte des sources d'alimentation en CA par le réseau, y compris les fluctuations de tension et de fréquence, à la suite d'une tornade. Pour ce qui est de la fréquence, il s'agit d'un initiateur attendu. La disponibilité de la fonction de sûreté était juste suffisante étant donné que la perte de réseau a été limitée dans le temps.

Conformément à la section IV-3.2.1.3 a), c'est le niveau 2 ou 3 qui convient. Comme la fonction de sûreté était juste suffisante, on a choisi le niveau 3. En outre, les LCE n'ont pas été respectées étant donné que les efforts pour ramener le réacteur au niveau de puissance minimum contrôlé ont été entrepris sans que l'on dispose de groupes diesels pour assurer la fonction de sûreté lors de la perte de réseau.

Exemple 12 : Perte de réseau de la centrale en raison d'un incendie dans le bâtiment des turbines – niveau 3

Description de l'événement

Alors qu'un RELP fonctionnait en régime de puissance, un incendie est survenu dans le bâtiment des turbines. Le réacteur a été arrêté manuellement et le refroidissement du réacteur a été entrepris.

En raison de l'incendie, de nombreux câbles et autres équipements électriques ont été endommagés, ce qui a entraîné une perte 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

L'événement n'a eu aucune incidence hors du site ou sur le site. La perte d'alimentation électrique sur le site (catégorie IV, III, II ou I) est un initiateur possible pour les RELP qui s'est effectivement produit. La fonction de sûreté "refroidissement" a été suffisante 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. Conformément à la section IV-3.2.1.3 a), l'événement a été classé aux niveaux 2/3. Le niveau 3 a été choisi en raison de défaillances de cause commune (incendie et dégradation des systèmes de sûreté disponibles en raison de la perte de nombreuses signalisations) telles que plusieurs autres défaillances potentielles isolées auraient pu entraîner un accident.

V-3.2. Exemples de l'approche "lignes de défense"

*Exemple 13 : Mise sous pression du volume libre de la cuve d'un dissolvant
d'éléments combustibles – niveau 0*

Description de l'événement

La détection de la mise sous faible pression du volume libre dans un dissolvant d'une usine de retraitement a entraîné la mise à l'arrêt automatique du processus. Le système de chauffage du dissolvant a été mis hors tension et le système de refroidissement par eau a fonctionné; l'alimentation en acide nitrique de la cuve a été stoppée et la réaction de dissolution arrêtée par l'adjonction d'eau dans le contenu de la cuve. Aucun rejet dans l'atmosphère de la zone de service de l'usine ou dans l'environnement ne s'est produit. Des investigations ultérieures ont montré que la mise sous 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

L'événement n'a eu aucune incidence hors du site ou sur le site. 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. On a donc retenu le niveau 0 pour le classement de base et il n'y a aucune raison de relever le niveau de l'événement.

Exemple 14 : Un travailleur a reçu une dose cumulative à l'organisme entier supérieure à la limite de dose – niveau 1

Description de l'événement

La dose à l'organisme entier reçue par un cadre au cours des deux dernières semaines de décembre a été légèrement plus élevée que ce qui est autorisé ou attendu, de sorte que la dose cumulée à l'organisme entier a dépassé la limite annuelle de dose.

Justification du classement

L'événement n'a eu aucune incidence hors du site et l'incidence sur le site a été inférieure au seuil significatif. Le classement de base est le niveau 0 étant donné qu'il n'y a aucune dégradation des lignes de défense prévues pour empêcher des doses significatives aux travailleurs. Cependant, comme la limite annuelle de la dose cumulée à l'organisme entier a été dépassée, l'événement devrait être classé au niveau 1 conformément à la section IV-3.3.

Exemple 15 : Défaillance du système de verrouillage des portes blindées – niveau 2

Description de l'événement

L'incident s'est produit lorsqu'un conteneur de déchets vitrifiés de haute activité a été introduit dans une cellule alors que les portes blindées donnant accès à celle-ci étaient ouvertes à la suite d'une opération d'entretien. L'ouverture des portes était commandée par un système d'échange à clé, des dispositifs de verrouillage gamma installés et des systèmes de commande à logique programmable. On avait modifié à deux reprises la conception initiale du système d'accès aux cellules durant les essais de mise en service pour tenter de l'améliorer. Tous ces systèmes n'ont pas réussi à empêcher le transfert de matières de haute activité dans la cellule alors que les portes blindées étaient ouvertes.

L'accès du personnel à cette zone est réglementé par un permis dont la délivrance est subordonnée au port d'un dosimètre individuel à alarme. Les personnes qui auraient pu se trouver dans la cellule ou dans les zones voisines auraient été gravement irradiées si elles n'avaient pas réagi au déplacement du conteneur ou à l'avertissement sonore de leur dosimètre individuel à alarme. En l'occurrence, l'opérateur a compris rapidement le problème et a fermé les portes blindées, en sorte que personne n'a subi d'irradiation non concertée.

La conception de l'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 :

- a) Les essais de mise en service du système d'échange à clé de verrouillage pour les portes blindées des cellules n'avaient pas révélé que le système était inadéquat;
- b) Un système de commande à logique programmable n'avait pas été programmé et mis en service correctement;
- c) Les modifications avaient été assez mal évaluées et contrôlées parce qu'elles n'avaient pas été classées convenablement du point de vue de leur importance pour la sûreté;
- d) Les concepteurs et le personnel des essais de mise en service n'avaient pas communiqué comme il convient.

L'autorisation de travail avait été close, ce qui donnait à penser que l'installation était revenue à son état normal, alors qu'en fait ce n'était pas le cas. On recourait trop fréquemment au système de proposition de modification temporaire de l'installation dans cette usine tout en le contrôlant de manière insuffisante, et l'ensemble du système en usage avait besoin d'être amélioré. La formation, de même que la supervision des entrées dans les cellules chaudes, étaient insuffisantes.

Justification du classement

Malgré la défaillance de plusieurs lignes de défense, il en subsistait une, à savoir la procédure d'autorisation de travail pour l'accès aux cellules exigeant le port de dosimètres individuels à alarme. Les conséquences potentielles maximales pour ces activités sont le niveau 4 (décès d'un travailleur) et donc, le classement de base est approprié est le niveau 2.

Exemple 16 : Défaillance du contrôle de criticité – niveau 1

Description de l'événement

Un contrôle de routine de la conformité aux règles de travail 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 ce conteneur en plastique supplémentaire, il était exigé qu'aucune matière hydrogénée outre l'emballage autorisé ne soit introduite dans le magasin. Des investigations ultérieures ont montré que le certificat de non-criticité était difficile à interpréter et que l'évaluation de la criticité était insuffisante pour permettre de bien comprendre l'évaluation de sûreté.

Justification du classement

Les conséquences potentielles maximales d'un incident de criticité seraient de niveau 4 (décès d'un travailleur). Le classement maximum sous l'angle de la défense en profondeur serait donc le niveau 2 (section IV-3.2.2.3). Les lignes de défense qui subsistent sont :

- Les contrôles en place pour empêcher l'inondation (supposée dans l'analyse de sûreté),
- Les inspections en vue de détecter les écarts par rapport aux hypothèses faites dans l'analyse de sûreté (par exemple la présence d'autres matières hydrogénées).

Par conséquent, deux lignes de défense subsistent et le classement de base est le niveau 1. Ce classement serait également approprié parce que :

- Les opérations étaient en dehors des LCE;
- Les lacunes dans la culture de sûreté font qu'il n'est pas possible d'assurer que l'évaluation et la documentation sont adéquates.

Exemple 17 : 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, les opérateurs ont travaillé pendant plus d'une heure sans confinement dynamique. La ventilation joue un double rôle. En premier lieu, elle dirige la radioactivité susceptible d'être disséminée dans un local fermé vers des circuits de filtration et de rejet contrôlé; en deuxième lieu, elle crée une légère dépression dans ledit local de manière à éviter le transfert de radioactivité vers d'autres zones. Cette forme de confinement est qualifiée de "confinement dynamique". L'incident a commencé par la perte d'alimentation électrique du système de ventilation normale. 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 normale et la défaillance du système de ventilation de secours étaient liées à la présence d'un mode commun entre les alimentations électriques de ces systèmes. L'alarme a été donnée au poste de garde, mais les informations ne sont parvenues ni au personnel de surveillance, ni au personnel d'exploitation.

Le personnel d'exploitation a été seulement informé du fait que l'alarme avait été déclenchée un peu plus d'une heure après avoir pris son service.

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

Justification du classement

Le système de ventilation a été conçu pour diriger l'air des zones de faible contamination vers des zones de contamination plus élevée ou potentiellement plus élevée. S'il y avait eu un événement coïncidant entraînant une pressurisation, une certaine radioactivité qui aurait dû être déchargée vers un système de filtration l'aurait été vers la zone de service de la centrale, puis vers l'atmosphère sans le même degré de filtration. Les conséquences potentielles maximales pourraient être :

- Sur le site : niveau 3 (importante contamination de l'air);
- Hors du site : niveau 4.

Le classement maximal sous l'angle de la défense en profondeur est donc le niveau 2.

Les dispositions de sûreté indépendantes subsistantes, à l'exclusion des procédures d'urgence ultimes, sont :

- Les systèmes de lutte contre l'incendie installés (automatiques);
- La structure de bâtiment qui assure à la fois le confinement et la décontamination pour diminuer l'irradiation;
- L'absence d'un incendie de combustible.

Selon la section IV-3.2.2.3, il y a eu plus de deux lignes de défense efficaces, ce qui fait qu'un classement de base au niveau 0 est approprié. Cependant, les LCE ont été transgressées (poursuite du travail sans ventilation) et l'événement doit donc être classé au niveau 1.

Exemple 18 : Perte de ventilation dans une installation d'entreposage de produits de fission – niveau 1

Description de l'événement

Le confinement de déchets liquides de haute activité était assuré par :

- Les réservoirs;

- Deux systèmes distincts d'extraction assurant un confinement dynamique en évitant tout transfert de radioactivité vers d'autres zones et en dirigeant la radioactivité susceptible de se propager vers les circuits de traitement et de filtration;
- Des systèmes de refroidissement pour éviter l'ébullition;
- Des systèmes de sûreté fonctionnant en mode pulsé pour éviter l'apparition de points chauds dans les réservoirs par suite du dépôt de particules solides;
- Un système d'extraction spécifique assurant la collecte de l'hydrogène pour éviter une explosion.

L'événement qui s'est produit a été un arrêt total des systèmes d'extraction. Le gradient de pression entre les cellules et les autres zones n'a pas été assuré pendant environ trois heures. Toutefois, les dispositions de sûreté prévues pour maintenir la dilution de l'hydrogène ont fonctionné normalement (réservoir d'air sous pression et disponibilité de bonbonnes d'azote).

Justification du classement

Le système de ventilation a trois fonctions :

- a) Maintien de la concentration d'hydrogène en dessous de la limite d'explosion inférieure;
- b) Maîtrise des rejets radioactifs par une voie filtrée;
- c) Maintien des gradients de pression entre les réservoirs, les cellules et les zones de service de l'installation.

La perte prolongée de ventilation avec incendie ou explosion dans le système de ventilation des réservoirs pourrait entraîner :

- Une augmentation des doses aux opérateurs, soit un niveau maximal 2 par pressurisation;
- Une contamination générale de l'air, soit un niveau maximal 3;
- Une augmentation des rejets dans l'atmosphère par le circuit de ventilation des cellules qui présente un degré de filtration inférieur à celui du circuit de ventilation des réservoirs. Les conséquences maximales peuvent dépasser le niveau 4;
- Un endommagement de l'installation, les matières radioactives étant toutefois totalement récupérables et confinées (niveau 4).

Les lignes de défense qui subsistent sont :

- Le refroidissement des réservoirs, qui limite la vitesse d'évolution des rejets gazeux, avec mesure de la concentration en H_2 et alarmes correspondantes, de l'azote étant disponible pour abaisser la teneur en oxygène si la concentration en hydrogène commence à augmenter;
- L'absence d'un mécanisme pouvant entraîner une déflagration ou une détonation;
- Des systèmes intacts de filtration et de ventilation des cellules distants des réservoirs et du bâtiment et des structures cellulaires agissant comme système de confinement et de décontamination pour diminuer l'incidence des rejets.

Conformément à la section IV-3.2.2.3, les conséquences potentielles maximales sont de niveau 5 et il existe trois lignes de défense. Le classement de base est donc le niveau 1 et il n'y a aucune raison pour relever le niveau.

Exemple 19 : Perte d'une source scellée – niveau 2

Description de l'événement

On a constaté qu'une source de ^{226}Ra de 2 GBq, utilisée pour des essais fonctionnels de l'instrumentation, était absente de son conteneur de transport protégé pendant l'essai de moniteurs de rayonnements. Cette source a été retrouvée dans une zone contrôlée, dans un couloir librement accessible au personnel.

Justification du classement

Une telle source fournirait 80 Sv/h à 1 cm, ce qui suffit à entraîner des brûlures (niveau 3) en quelques minutes d'exposition, voire un décès. Le classement maximal sous l'angle de la défense en profondeur est donc le niveau 2. Étant donné la brièveté des délais disponibles, toutes les lignes de défense potentielles étaient inefficaces. L'événement est donc classé au niveau 2.

Exemple 20 : 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 un gant ambidextre jusqu'à l'éclatement du gant. L'eau déversée contenait environ 2,3 GBq de ^{239}Pu .

Justification du classement

Le laboratoire n'était pas conçu pour retenir des liquides déversés. Les déversements de liquides sont évalués sur la base d'une équivalence radiologique de quelques centaines de GBq de ^{106}Ru .

Selon la section III-2.4 :

$$\begin{array}{lcl} 1 \text{ Bq } ^{239}\text{Pu} & \cong & 3\,000 \text{ Bq } ^{106}\text{Ru} \\ 2, 3 \text{ GBq } ^{239}\text{Pu} & \cong & 6,9 \times 10^3 \text{ GBq } ^{106}\text{Ru} \end{array}$$

La quantité déversée est supérieure à la quantité correspondant au niveau 2, mais inférieure à la quantité correspondant au niveau 3 de quelques milliers de TBq. Étant donné que le déversement était sous forme liquide, la probabilité d'une exposition significative du personnel est fortement limitée.

Exemple 21 : Découverte de matières nucléaires dans des conteneurs de transport supposés vides – niveau 1

Description de l'événement

Une installation de fabrication du combustible reçoit de l'étranger de l'oxyde d'uranium enrichi en ^{235}U . Les matières sont transportées dans des récipients spéciaux scellés mécaniquement dans un conteneur maritime. Après avoir enlevé les matières, 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 8^9 Bq; toutefois, la surface extérieure des récipients et du conteneur maritime n'était pas contaminée. Aucun travailleur ni membre du public n'a reçu de dose non prévue du fait de cet événement.

Justification du classement

Bien que l'emballage des récipients vides ait été le même que s'ils avaient été pleins (le joint mécanique était toujours en place et l'état du conteneur était le même), l'étiquetage du transport était moins rigoureux et les précautions de manutention étaient légèrement moins strictes. En conséquence, il y a eu transgression des LCE, l'événement étant classé au niveau 1 (conformément à la section V-1.11).

Exemple 22 : 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 RRA, qui fonctionnait, se sont fermées automatiquement en raison de la perte d'alimentation électrique de la division 2 du système de protection. L'alimentation de secours était indisponible pour cause de maintenance. La tranche avait été arrêtée pendant longtemps (près de 16 mois) et la chaleur résiduelle était très faible. Pendant que le refroidissement d'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 RRA a été redémarré environ six heures après l'événement initial.

Justification du classement

Étant donné que le réacteur était à l'arrêt, l'événement doit être classé en utilisant l'approche "lignes de défense".

- a) Pour cet événement particulier, on disposait d'un temps très long avant que des conséquences significatives (dégradation du cœur ou rejets radiologiques importants) ne puissent se produire. Ce temps permet de mettre en œuvre un éventail étendu de mesures pour corriger la situation et peut donc être considéré comme une "ligne de défense à haute intégrité", selon la section IV-3.2.2.1. Du fait de la présence d'une telle ligne de défense, le classement de base de l'événement est le niveau 0;
- b) Si l'on suppose que la configuration se situait en dehors des LCE par rapport au temps prévu pour la récupération, l'événement doit être classé au niveau 1;
- c) Si la chaleur résiduelle n'avait pas été très faible, le temps imparti 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 interventions de l'opérateur pour rétablir l'alimentation électrique de la division 2 du système de protection;
 - Procédures et interventions de l'opérateur pour rétablir le refroidissement à l'arrêt grâce à des systèmes de secours.

D'après les conséquences potentielles maximales pour l'installation considérée le classement approprié est au moins le niveau 5, si bien que la première colonne du tableau V s'applique. Étant donné qu'il restait deux lignes de défense, l'événement devrait donc être classé au niveau 2.

Exemple 23 : 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 sur un réacteur de recherche de type piscine pendant une opération de rechargement. Ce réacteur fonctionne normalement à 2 MW. Après le remplacement d'une barre de pilotage, les assemblages combustibles étaient en train d'être réintroduits 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 ensuite été mises en position de retrait à 85% au lieu des 40% exigés (position de sauvegarde). Lors de l'insertion du sixième assemblage combustible, une lueur bleue a été observée et le réacteur est passé en surpuissance. L'arrêt log N avait été contourné de manière à éviter les déclenchements intempestifs pendant le déplacement du combustible irradié pour chargement dans le cœur et n'avait pas été rétabli. La valeur maximale du transitoire de puissance a été estimée à environ 300% de la pleine puissance. Les procédures liées au rechargement sont actuellement revues et révisées.

Justification du classement

L'introduction à la section 3.2 précise que l'approche "lignes de défense" devrait être utilisée pour l'évaluation des réacteurs de recherche. La première étape consiste donc à identifier les conséquences potentielles maximales. Pour ce réacteur, on a démontré que le classement potentiel maximal ne dépasserait pas le niveau 4. La seule barrière empêchant un rejet significatif était l'arrêt pour cause de surpuissance. Les détails concernant cette protection ne sont pas donnés, mais à moins de pouvoir démontrer qu'il existe deux ou plusieurs lignes de protection redondantes, efficaces dans les conditions d'exploitation prévalentes, il faudrait supposer qu'il n'existe qu'une seule ligne empêchant un rejet significatif. Le classement selon le tableau V est donc le niveau 2.

PARTIE VI

APPENDICES

Appendice I

CALCUL DE L'ÉQUIVALENCE RADIOLOGIQUE

I.1. INTRODUCTION

Le présent appendice donne 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}I . Les valeurs des coefficients d'inhalation ont été publiées récemment et intégrées aux Normes fondamentales internationales (NFI)⁸ de l'AIEA. Ce sont elles qui ont été utilisées dans cette analyse.

I.2. MÉTHODE

Des scénarios et une méthodologie comparables ont été utilisés, comme pour les indications précédentes. Ils sont résumés ci-après.

- a) Pour les incidences hors du site, on a considéré les deux voies suivantes :
 - Dose par inhalation (effective, membre adulte du public) de radionucléides en suspension dans l'air, avec un rythme de respiration de $3,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et un coefficient de dose par inhalation (D_{inh} , Sv·Bq⁻¹);
 - Une dose gamma externe (effective, adulte), intégrée sur 50 ans, due aux radionucléides déposés au sol. 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. On utilise la dose intégrée sur 50 ans

⁸ AGENCE DE L'OCDE POUR L'ENERGIE NUCLEAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, ORGANISATION PANAMERICAINE DE LA SANTE, Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, Collection Sécurité n° 115, AIEA, Vienne (1997).

par unité de dépôt au sol pour chaque radionucléide (D_{sol} , Sv par Bq·m⁻²), un facteur de 0,5 étant appliqué pour tenir compte de la rugosité du sol. La dose totale (D_{tot}) résultant d'un rejet d'activité Q et de la concentration en radionucléides en suspension dans l'air au niveau du sol intégrée sur le temps X (Bq·s·m⁻³ par Bq rejeté) s'établit comme suit :

$$D_{\text{tot}} = QX(D_{\text{inh}} \cdot \text{rythme de respiration} + Vg D_{\text{gnd}} 0,5)$$

Pour chaque radionucléide, l'équivalence radiologique par rapport à ¹³¹I peut donc être calculée comme le ratio des valeurs respectives de $D_{\text{tot}}/(QX)$.

b) Les conséquences sur le site tiennent compte uniquement de l'inhalation, et les coefficients d'inhalation concernent les travailleurs.

I.3. DONNÉES DE BASE

Les coefficients d'inhalation donnés dans la deuxième et troisième colonnes du tableau VIII sont tirées des NFI (voir note 8), à l'exception de U_{nat} qui n'est pas indiqué dans ce document. Les valeurs pour U_{nat} ont été calculées en additionnant les apports de ²³⁸U, ²³⁵U, ²³⁴U et leurs principaux produits de désintégration, comme indiqué ci-après. S'il y a plusieurs types d'absorption à partir des poumons pour un même radionucléide, on a retenu la valeur maximale du coefficient d'inhalation.

Les doses intégrées sur 50 ans dues à un rayonnement gamma externe ont été calculées par le National Radiological Protection Board du Royaume-Uni. Les données pour ²³⁵U incluent ²³¹Th et celles pour ²³⁸U incluent ²³⁴Th et ²³⁴Pa^m. Les valeurs pour l'uranium naturel ont été calculées selon les ratios suivants : ²³⁴U (48,9%), ²³⁵U (2,2%) et ²³⁸U (48,9%).

I.4. RÉSULTATS

Les facteurs de multiplication applicables aux incidences sur le site ont été obtenus en divisant la valeur pour chaque radionucléide par celle pour ¹³¹I. Ces valeurs sont données dans le tableau IX et, sous forme arrondie, dans le tableau X. Les facteurs de multiplication sont très proches de ceux publiés dans le document de clarification INES antérieur⁹.

⁹ AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, Clarification of Issues Raised : Addendum to the INES User's Manual, AIEA, Vienne (1996).

Le calcul des facteurs de multiplication applicables aux incidences hors du site est présenté dans le tableau XI. La dose externe par $\text{Bq}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$ (quatrième colonne) est ajoutée à la dose due à l'inhalation (septième colonne) de manière à donner le total pour les deux voies (huitième colonne). La valeur totale pour chaque radionucléide est divisée par celle pour ^{131}I de manière à donner les facteurs de multiplication figurant dans la dernière colonne. Ils sont donnés sous forme arrondie dans le tableau X.

TABLEAU VIII. DONNÉES DE BASE

Nucléide	Coefficients d'inhalation		Dose externe due au dépôt	
	Sv/Bq (travailleurs) (tirés des NFI)	Sv/Bq (public) (tirés des NFI)	Sv·h ⁻¹ par Bq·m ⁻² (a)	Sv·50 a ⁻¹ par Bq·m ⁻² (b)
¹³¹ I	1,10 × 10 ⁻⁸	7,40 × 10 ⁻⁹	—	2,48 × 10 ⁻¹⁰
Eau tritiée	1,80 × 10 ⁻¹¹	2,60 × 10 ⁻¹⁰	—	0
³² P	2,90 × 10 ⁻⁹	3,40 × 10 ⁻⁹	—	0
⁵⁴ Mn	1,20 × 10 ⁻⁹	1,50 × 10 ⁻⁹	—	1,96 × 10 ⁻⁸
⁶⁰ Co	1,70 × 10 ⁻⁸	3,10 × 10 ⁻⁸	—	2,30 × 10 ⁻⁷
⁹⁹ Mo	1,10 × 10 ⁻⁹	9,90 × 10 ⁻¹⁰	—	5,57 × 10 ⁻¹¹
¹³⁷ Cs	6,70 × 10 ⁻⁹	3,90 × 10 ⁻⁸	—	1,25 × 10 ⁻⁷
¹³⁴ Cs	9,60 × 10 ⁻⁹	2,00 × 10 ⁻⁸	—	7,24 × 10 ⁻⁸
¹³² Te	3,00 × 10 ⁻⁹	2,00 × 10 ⁻⁹	—	6,49 × 10 ⁻¹⁰
⁹⁰ Sr	7,70 × 10 ⁻⁸	1,60 × 10 ⁻⁷	—	0
¹⁰⁶ Ru	3,50 × 10 ⁻⁸	6,60 × 10 ⁻⁸	—	5,27 × 10 ⁻⁹
²³⁴ U(L) ^b	6,80 × 10 ⁻⁶	9,40 × 10 ⁻⁶	3,40 × 10 ⁻¹⁶	1,49 × 10 ⁻¹⁰
²³⁵ U(L) ^b	6,10 × 10 ⁻⁶	8,50 × 10 ⁻⁶	3,65 × 10 ⁻¹³	1,60 × 10 ⁻⁷
²³⁵ U(M) ^b	1,80 × 10 ⁻⁶	3,10 × 10 ⁻⁶	3,65 × 10 ⁻¹³	1,60 × 10 ⁻⁷
²³⁵ U(R) ^b	6,00 × 10 ⁻⁷	5,20 × 10 ⁻⁷	3,65 × 10 ⁻¹³	1,60 × 10 ⁻⁷
²³⁸ U(L) ^b	5,70 × 10 ⁻⁶	8,00 × 10 ⁻⁶	5,36 × 10 ⁻¹⁴	2,35 × 10 ⁻⁸
²³⁸ U(M) ^b	1,60 × 10 ⁻⁶	2,90 × 10 ⁻⁶	5,36 × 10 ⁻¹⁴	2,35 × 10 ⁻⁸
²³⁸ U(R) ^b	5,80 × 10 ⁻⁷	5,00 × 10 ⁻⁷	5,36 × 10 ⁻¹⁴	2,35 × 10 ⁻⁸
U _{nat}	6,20 × 10 ⁻⁶	8,70 × 10 ⁻⁶	3,44 × 10 ⁻¹⁴	1,51 × 10 ⁻⁸
²³⁹ Pu	1,00 × 10 ⁻⁴	1,20 × 10 ⁻⁴	1,75 × 10 ⁻¹⁶	7,67 × 10 ⁻¹¹
²⁴¹ Am	2,70 × 10 ⁻⁵	9,60 × 10 ⁻⁵	3,65 × 10 ⁻¹⁴	1,60 × 10 ⁻⁸

^a Calculation of radiological equivalence for the INES User's Manual, lettre de S. Hugues à S.J. Mortin, 2000

^b Types d'absorption par les poumons : L — lente; M — modérée; R — rapide. En cas d'incertitude, utiliser la valeur la plus prudente.

TABLEAU IX. INCIDENCES SUR LE SITE, INHALATION UNIQUEMENT

Nucléide	Coefficient d'inhalation (Sv/Bq) (travailleurs)	Ratio par rapport à ^{131}I
^{131}I	$1,10 \times 10^{-8}$	1,0
Eau tritiée	$1,80 \times 10^{-11}$	0,002
^{32}P	$2,90 \times 10^{-9}$	0,3
^{54}Mn	$1,20 \times 10^{-9}$	0,1
^{60}Co	$1,70 \times 10^{-8}$	1,5
^{99}Mo	$1,10 \times 10^{-9}$	0,1
^{137}Cs	$6,70 \times 10^{-9}$	0,6
^{134}Cs	$9,60 \times 10^{-9}$	0,9
^{132}Te	$3,00 \times 10^{-9}$	0,3
^{90}Sr	$7,70 \times 10^{-8}$	7,0
^{106}Ru	$3,50 \times 10^{-8}$	3,2
$^{235}\text{U(L)}^{\text{a}}$	$6,10 \times 10^{-6}$	554,5
$^{235}\text{U(M)}^{\text{a}}$	$1,80 \times 10^{-6}$	163,6
$^{235}\text{U(R)}^{\text{a}}$	$6,00 \times 10^{-7}$	54,5
$^{238}\text{U(L)}^{\text{a}}$	$5,70 \times 10^{-6}$	518,2
$^{238}\text{U(M)}^{\text{a}}$	$1,60 \times 10^{-6}$	145,5
$^{238}\text{U(R)}$	$5,80 \times 10^{-7}$	52,7
U_{nat}	$6,20 \times 10^{-6}$	563,6
^{239}Pu	$1,00 \times 10^{-4}$	9 090,9
^{241}Am	$2,70 \times 10^{-5}$	2 454,5

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

TABLEAU X. INCIDENCES HORS DU SITE, INHALATION ET DOSE EXTERNE DUE AU DÉPÔT AU SOL

Nucléide	Dose externe sur 50 a (Sv par Bq·m ⁻²)	Vitesse de dépôt, Vg (m·s ⁻¹)	Dose externe sur 50 a (Sv par Bq·s·m ⁻³)	Coefficient d'inhalation (public) (Sv par Bq)	Rythme de respiration Sv par (m ³ ·s ⁻¹)	Dose d'inhalation Sv par (Bq·s·m ⁻³)	Dose totale Sv par (Bq·s·m ⁻³)	Ratio par rapport à ¹³¹ I
¹³¹ I	2,48×10 ⁻¹⁰	1,00×10 ⁻²	1,24×10 ⁻¹²	7,40×10 ⁻⁹	3,30×10 ⁻⁴	2,44×10 ⁻¹²	3,68×10 ⁻¹²	1,0
Eau tritiée	0	0	0	2,60×10 ⁻¹⁰	3,30×10 ⁻⁴	8,58×10 ⁻¹⁴	8,58×10 ⁻¹⁴	0,02
³² P	0	1,50×10 ⁻³	0	3,40×10 ⁻⁹	3,30×10 ⁻⁴	1,12×10 ⁻¹²	1,12×10 ⁻¹²	0,30
⁵⁴ Mn	1,96×10 ⁻⁸	1,50×10 ⁻³	1,47×10 ⁻¹¹	1,50×10 ⁻⁹	3,30×10 ⁻⁴	4,95×10 ⁻¹³	1,52×10 ⁻¹¹	4,1
⁶⁰ Co	2,30×10 ⁻⁷	1,50×10 ⁻³	1,73×10 ⁻¹⁰	3,10×10 ⁻⁸	3,30×10 ⁻⁴	1,02×10 ⁻¹¹	1,83×10 ⁻¹⁰	49,6
⁹⁹ Mo	5,57×10 ⁻¹¹	1,50×10 ⁻³	4,18×10 ⁻¹⁴	9,90×10 ⁻¹⁰	3,30×10 ⁻⁴	3,27×10 ⁻¹³	3,68×10 ⁻¹³	0,1
¹³⁷ Cs	1,25×10 ⁻⁷	1,50×10 ⁻³	9,38×10 ⁻¹¹	3,90×10 ⁻⁸	3,30×10 ⁻⁴	1,29×10 ⁻¹¹	1,07×10 ⁻¹⁰	29,0
¹³⁴ Cs	7,24×10 ⁻⁸	1,50×10 ⁻³	5,43×10 ⁻¹¹	2,00×10 ⁻⁸	3,30×10 ⁻⁴	6,60×10 ⁻¹²	6,09×10 ⁻¹¹	16,5
¹³² Te	6,49×10 ⁻¹⁰	1,50×10 ⁻³	4,87×10 ⁻¹³	2,00×10 ⁻⁹	3,30×10 ⁻⁴	6,60×10 ⁻¹³	1,15×10 ⁻¹²	0,3
⁹⁰ Sr	0	1,50×10 ⁻³	0	1,60×10 ⁻⁷	3,30×10 ⁻⁴	5,28×10 ⁻¹¹	5,28×10 ⁻¹¹	14,3
¹⁰⁶ Ru	5,27×10 ⁻⁹	1,50×10 ⁻³	3,95×10 ⁻¹²	6,60×10 ⁻⁸	3,30×10 ⁻⁴	2,18×10 ⁻¹¹	2,57×10 ⁻¹¹	7,0
²³⁵ U(L) ^a	1,60×10 ⁻⁷	1,50×10 ⁻³	1,20×10 ⁻¹⁰	8,50×10 ⁻⁶	3,30×10 ⁻⁴	2,81×10 ⁻⁹	2,92×10 ⁻⁹	794,4
²³⁵ U(M) ^a	1,60×10 ⁻⁷	1,50×10 ⁻³	1,20×10 ⁻¹⁰	3,10×10 ⁻⁶	3,30×10 ⁻⁴	1,02×10 ⁻⁹	1,14×10 ⁻⁹	310,4
²³⁵ U(R) ^a	1,60×10 ⁻⁷	1,50×10 ⁻³	1,20×10 ⁻¹⁰	5,20×10 ⁻⁷	3,30×10 ⁻⁴	1,72×10 ⁻¹⁰	2,92×10 ⁻¹⁰	79,2
²³⁸ U(L) ^a	2,35×10 ⁻⁸	1,50×10 ⁻³	1,76×10 ⁻¹¹	8,00×10 ⁻⁶	3,30×10 ⁻⁴	2,64×10 ⁻⁹	2,66×10 ⁻⁹	721,8
²³⁸ U(M) ^a	2,35×10 ⁻⁸	1,50×10 ⁻³	1,76×10 ⁻¹¹	2,90×10 ⁻⁶	3,30×10 ⁻⁴	9,57×10 ⁻¹⁰	9,75×10 ⁻¹⁰	264,7
²³⁸ U(R) ^a	2,35×10 ⁻⁸	1,50×10 ⁻³	1,76×10 ⁻¹¹	5,00×10 ⁻⁷	3,30×10 ⁻⁴	1,65×10 ⁻¹⁰	1,83×10 ⁻¹⁰	49,6
U _{nat}	1,51×10 ⁻⁸	1,50×10 ⁻³	1,13×10 ⁻¹¹	8,70×10 ⁻⁶	3,30×10 ⁻⁴	2,87×10 ⁻⁹	2,88×10 ⁻⁹	782,8
²³⁹ Pu	7,67×10 ⁻¹¹	1,50×10 ⁻³	5,75×10 ⁻¹⁴	1,20×10 ⁻⁴	3,30×10 ⁻⁴	3,96×10 ⁻⁸	3,96×10 ⁻⁸	10755,0
²⁴¹ Am	1,60×10 ⁻⁸	1,50×10 ⁻³	1,20×10 ⁻¹¹	9,60×10 ⁻⁵	3,30×10 ⁻⁴	3,17×10 ⁻⁸	3,17×10 ⁻⁸	8 607,3

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

TABLEAU XI. ÉQUIVALENCES RADIOLOGIQUES

Nucléide	Facteurs de multiplication	
	Incidences hors du site	Incidences sur le site
^{131}I	1(1)	1(1)
Eau tritiée	0,02(-)	0,002(-)
^{32}P	0,3(-)	0,3(-)
^{54}Mn	4(-)	0,1(-)
^{60}Co	50(-)	1,5(-)
^{99}Mo	0,1(-)	0,1(-)
^{137}Cs	30(90)	0,6(1)
^{134}Cs	20(-)	0,9(2)
^{132}Te	0,3(-)	0,3(4)
^{90}Sr	10(30)	7(10)
^{106}Ru	7(10)	3(1)
$^{235}\text{U(L)}^{\text{a}}$	800(-)	600(-)
$^{235}\text{U(M)}^{\text{a}}$	300(-)	200(-)
$^{235}\text{U(R)}^{\text{a}}$	100(-)	50(-)
$^{238}\text{U(L)}^{\text{a}}$	700(2 500)	500(1 000)
$^{238}\text{U(M)}^{\text{a}}$	300(-)	100(-)
$^{238}\text{U(R)}^{\text{a}}$	50(80)	50(35)
U_{nat}	800	600
^{239}Pu	10 000(9000)	9 000(10 000)
^{241}Am	9 000(9000)	2 000(10 000)

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

Note : Les valeurs entre parenthèses sont celles figurant dans les NFI.

Appendice II

VUE D'ENSEMBLE DE LA PROCÉDURE POUR LE CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS CONCERNANT DES RÉACTEURS EN RÉGIME DE PUISSANCE SOUS L'ANGLE DE LA DÉFENSE EN PROFONDEUR

II.1. GÉNÉRALITÉS

La défense en profondeur peut être envisagée de plusieurs façons. Par exemple, on peut considérer le nombre de barrières prévues pour empêcher 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 essentiels, par exemple). C'est cette dernière approche qui est adoptée dans le cadre de la procédure de classement INES.

La procédure de classement de base privilégie l'étendue des défaillances de systèmes de sûreté et la question de savoir s'ils ont été sollicités. Toutefois, il est admis que les conséquences d'une défaillance de tous les systèmes peuvent varier dans des proportions considérables. Les conséquences potentielles sont traitées dans INES d'une manière relativement simple. Pour les événements dont les conséquences potentielles maximales peuvent être du niveau 5 ou plus, le niveau 3 est le maximum approprié sous l'angle de la défense en profondeur. Si les conséquences potentielles maximales de l'événement ne peuvent pas être supérieures au niveau 4, le maximum, sous l'angle de la défense en profondeur, est le niveau 2. De même, si les conséquences potentielles maximales ne peuvent pas dépasser le niveau 2, le maximum sous l'angle de la défense en profondeur est le niveau 1.

Nous allons examiner plus en détail l'approche du classement des événements. Deux approches distinctes mais analogues sont décrites dans le manuel. La première, qui est résumée ici, est plus manifestement appropriée pour les événements associés à des réacteurs en régime de puissance. La deuxième convient mieux pour des événements liés à des réacteurs à l'arrêt, des usines chimiques, des défaillances d'acheminement du combustible, des dispositions associées à la protection des travailleurs, etc. En général, l'approche à utiliser dépend de la manière dont la sûreté de la centrale a été évaluée.

II.2. PROCÉDURE POUR LES ÉVÉNEMENTS ASSOCIÉS AUX RÉACTEURS EN RÉGIME DE PUISSANCE

Prenons l'exemple d'une centrale où la protection contre la perte de réseau est fournie par quatre groupes diesels essentiels. Pour qu'un accident se produise,

l'événement doit solliciter la sûreté de la centrale (perte de réseau, par exemple) et la protection doit être défaillante (aucun des diesels ne démarre). La sollicitation initiale de la sûreté de la centrale (perte de réseau dans l'exemple) est qualifiée d'"initiateur" et la réaction des diesels est définie par la "disponibilité de la fonction de sûreté" (refroidissement après l'arrêt d'urgence dans l'exemple). Donc, pour qu'un accident se produise, il faut un initiateur et une disponibilité insuffisante des fonctions de sûreté.

La défense en profondeur mesure la proximité par rapport à l'accident : apparition de l'initiateur, sa probabilité et disponibilité des fonctions de sûreté. S'il y a eu perte de réseau mais que tous les diesels ont démarré comme prévu, un accident était peu probable (un tel événement serait probablement classé au niveau 0). De même, si un diesel avait été défaillant pendant un essai, mais que les autres étaient disponibles et que l'alimentation par le réseau l'était également, un accident était alors peu probable (un tel événement serait probablement classé également au niveau 0).

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

La procédure de classement consiste donc à se demander si les fonctions de sûreté doivent être opérationnelles (c'est-à-dire si un initiateur est apparu), qu'elle est la probabilité supposée de l'initiateur et si les fonctions de sûreté requises sont disponibles.

Appendice III

UTILISATION DES TABLEAUX POUR LE CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS CONCERNANT DES RÉACTEURS EN RÉGIME DE PUISSANCE (SECTION IV-3.2.1)

III.1. INCIDENTS ENTRAÎNANT UNE DÉGRADATION DES SYSTÈMES DE SÛRETÉ EN L'ABSENCE D'UN INITIATEUR (SECTION IV-3.2.1.3 b))

Le classement d'un incident dépendra essentiellement 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, puisque le temps d'indisponibilité varie selon les incidents. Par conséquent, si le temps d'indisponibilité est très court, on pourra classer l'incident à un niveau inférieur à celui que donne le tableau.

Si la disponibilité d'une fonction de sûreté requise est insuffisante (qu'elle soit juste insuffisante ou très insuffisante), un accident n'a pu être évité que parce que l'initiateur ne s'est pas produit. Dans ce cas, s'il s'agit d'une fonction de sûreté requise pour des initiateurs attendus (à savoir les initiateurs dont on s'attend qu'ils se produisent une ou plusieurs fois pendant la durée de vie de la centrale), le niveau 3 est approprié. Si la fonction de sûreté dont la disponibilité est insuffisante n'est requise 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. Pour cette raison, le tableau donne un classement de niveau 2 pour les initiateurs possibles et de 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 que juste suffisante, sans être pour autant comprise dans les LCE. En effet, le minimum exigé par les LCE 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 donne le choix entre le niveau 1 et le niveau 2. Le niveau approprié devrait 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 obtiendrait, en abaissant d'un niveau le classement déterminé ci-dessus pour une disponibilité insuffisante, le niveau 1 pour les initiateurs possibles et le niveau 0 pour les initiateurs improbables. Cela dit, il n'est pas approprié de classer au niveau 0 une disponibilité moindre que le minimum exigé par les LCE. En effet, un

élément important de la défense en profondeur, la redondance d'un système de sûreté, a été défaillant. Le tableau donne donc un classement de niveau 1, tant pour les initiateurs possibles que pour les initiateurs improbables.

Si la disponibilité de la fonction de sûreté est comprise dans les LCE, la centrale est restée dans des conditions d'exploitation sûres et le niveau 0 est approprié pour toutes les catégories d'initiateurs. Cela apparaît également dans le tableau.

III.2. INCIDENTS AVEC INITIATEUR RÉEL (SECTION IV-3.2.1.3 a))

Ici, le classement dépend essentiellement de la disponibilité des fonctions de sûreté mais, par souci de cohérence, on utilise un tableau de même structure que pour les incidents sans initiateur réel.

À l'évidence, si la fonction de sûreté est insuffisante, l'accident se produit et il peut être classé en fonction des incidences hors du site ou sur le site. Cependant, sous l'angle de la défense en profondeur, le niveau 3 représente le classement le plus élevé. Cette perte totale de la défense en profondeur est notée 3+ dans le tableau II.

Si la fonction de sûreté est juste suffisante, le niveau 3 est à nouveau approprié, car une défaillance supplémentaire entraînerait un accident. Toutefois, comme indiqué précédemment, lorsque la disponibilité est juste en dessous de ce qui est exigé par les LCE, elle peut être bien plus que juste suffisante, en particulier pour les initiateurs attendus. Par conséquent, pour les initiateurs attendus et une fonction de sûreté suffisante, le tableau II donne le choix entre les niveaux 2 et 3, selon que la disponibilité de la fonction est plus ou moins suffisante. Pour les initiateurs improbables, la disponibilité exigée par les LCE risque d'être juste suffisante; 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, par conséquent, le tableau II donne le niveau 2/3 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'incident au niveau 0, comme l'indique le tableau. En revanche, l'apparition d'initiateurs possibles ou improbables, 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 II attribue le niveau 1 pour les initiateurs possibles et le niveau 2 pour les 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, selon la redondance restante. Pour les initiateurs attendus, il y aura une redondance supplémentaire et, par conséquent, le niveau proposé est inférieur. Le tableau II indique le niveau 1 ou 2 et, ici encore,

on choisira le niveau selon la redondance supplémentaire des fonctions 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 ce cas, le niveau 0 serait plus approprié.

Appendice IV

EXEMPLES D'INITIATEURS

IV.1. RÉACTEURS À EAU SOUS PRESSION (REP ET VVER)

IV.1.1. Attendus

- 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 primaire 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 fluide de refroidissement, à l'exclusion du blocage du rotor d'une pompe primaire

IV.1.2. Possibles

- Petit APRP
- 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 fluide de refroidissement primaire par de multiples vannes de sûreté ou de décharge

IV.1.3. Improbables

- APRP majeur, jusques et y compris la rupture de tuyauterie justifiée la plus importante dans l'enveloppe de pression du circuit primaire
- Éjection d'une seule barre de commande
- Rupture de tuyauterie importante dans le système de transformation de l'énergie, jusques et y compris la rupture de tuyauterie justifiée la plus importante
- Chute d'un assemblage combustible usé sur d'autres assemblages combustibles usés

IV.2. RÉACTEURS À EAU BOUILLANTE

IV.2.1. Attendus

- Arrêt d'urgence du réacteur
- Retrait intempestif d'une barre de commande lors du fonctionnement du réacteur en régime de puissance
- Perte 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 fluide de refroidissement

IV.2.2. POSSIBLES

- Petit APRP
- Rupture d'une tuyauterie 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 fluide de refroidissement par de multiples vannes de sûreté ou de décharge

IV.2.3. Improbables

- APRP majeur, jusques et y compris la rupture de tuyauterie justifiée la plus importante dans l'enveloppe de pression du circuit de refroidissement du réacteur
- Chute d'une seule barre de commande
- Rupture importante de la tuyauterie vapeur principale
- Chute d'un assemblage combustible usé sur d'autres assemblages combustibles usés

IV.3. RÉACTEURS À EAU LOURDE SOUS PRESSION CANDU

IV.3.1. Attendus

- 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 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 régional non programmé de la réactivité

IV.3.2. Possibles

- Petit APRP (y compris la rupture d'un tube de force)
- Rupture complète d'un tube de générateur de vapeur
- Décharge de fluide de refroidissement du réacteur 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)

IV.3.3. Improbables

- APRP majeur, jusques et y compris la rupture de tuyauterie justifiée la plus importante dans l'enveloppe de pression du circuit de refroidissement du réacteur
- Rupture de tuyauterie importante dans le système de transformation de l'énergie, jusques et y compris la rupture de tuyauterie justifiée la plus importante

IV.4. RÉACTEURS DE GRANDE PUISSANCE À TUBES DE FORCE (RBMK)

IV.4.1. Attendus

- 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 fluide 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.

IV.4.2. Possibles

- Petit APRP
- Chute d'un assemblage combustible usé
- Fuite dans la piscine d'entreposage, supérieure à la capacité d'appoint normale
- Fuite de fluide 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 coeur

IV.4.3 Improbables

- APRP majeur, jusques et y compris la rupture de tuyauterie justifiée la plus importante dans l'enveloppe de pression du circuit primaire
- Rupture de tuyauterie vapeur principale avant la vanne d'isolement du circuit principal de vapeur, y compris la rupture de tuyauterie 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

IV.5. RÉACTEURS REFROIDIS PAR UN GAZ

IV.5.1. Attendus

- Arrêt d'urgence du réacteur
- Perte de la circulation d'eau d'alimentation
- Très faible dépressurisation
- Fuite dans un tube d'échangeur de chaleur
- Perte de l'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 fluide de refroidissement du réacteur

IV.5.2. Possibles

- 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)

IV.5.3. Improbables

- Dépressurisation majeure
- Rupture de tuyauterie vapeur
- Rupture de tuyauterie d'alimentation

Appendice V

CLASSEMENT D'ÉVÉNEMENTS IMPLIQUANT UNE TRANSGRESSION DES LIMITES ET CONDITIONS D'EXPLOITATION

Les “limites et conditions d'exploitation” (LCE) décrivent la disponibilité minimale des systèmes de sûreté telle que le fonctionnement reste conforme aux prescriptions de sûreté de la centrale. Elles peuvent aussi comprendre le fonctionnement avec une disponibilité réduite de systèmes de sûreté pendant un temps limité. Dans certains pays, les “spécifications techniques” comprennent les LCE et décrivent en outre, dans l'éventualité où les LCE ne sont pas respectées, les actions à entreprendre, y compris les temps impartis pour la récupération et l'état de repli approprié.

Si la disponibilité des systèmes se situe dans les LCE mais que l'installation reste plus longtemps que le temps imparti (défini dans les spécifications techniques) dans cet état de disponibilité, l'événement devrait être classé au niveau 1 en raison de lacunes dans la culture de sûreté.

Si l'on constate que la disponibilité des systèmes est inférieure à celle qu'autorisent les LCE, y compris pendant un temps limité, mais que l'opérateur passe à un état sûr selon les spécifications techniques, l'événement devrait être alors classé selon les indications de la section III-3.2, mais ne devrait pas être classé à un niveau supérieur en raison d'une transgression des spécifications techniques. On tiendra également compte du temps pendant lequel la disponibilité de la fonction de sûreté est inférieure à celle définie par les LCE.

Outre les LCE formelles, certains pays introduisent dans les spécifications techniques d'autres exigences comme des limites qui ont trait à la sûreté des composants à long terme. Pour les événements pour lesquels de telles limites sont dépassées brièvement, le niveau 0 peut s'avérer plus approprié.

Pour les réacteurs à l'arrêt, les spécifications techniques peuvent spécifier à nouveau des exigences de disponibilité minimales mais ne spécifient généralement pas des temps de récupération et des états de repli étant donné qu'il n'est pas possible d'identifier un état plus sûr. L'exigence consistera à remettre la centrale dans son état initial le plus rapidement possible. En général, les défaillances des centrales qui diminuent la disponibilité pendant l'arrêt devraient être classées en utilisant l'approche “lignes de défense” et la diminution de la disponibilité de la centrale en dessous de celle exigée par les spécifications techniques ne devrait pas être considérée comme une transgression des LCE.

Le présent manuel a été préparé sur la base de l'expérience acquise avec l'édition de 1992 et des explications données en ce qui concerne les problèmes soulevés. La présente mise à jour a été réalisée sous les auspices du Comité consultatif INES, présidé par S. Mortin, Magnox Generation Business Group, British Nuclear Fuels (Royaume-Uni).

Appendice VI

LISTE DES PAYS ET DES ORGANISATIONS PARTICIPANTS

Afrique du Sud	Irlande Islande
Allemagne	Italie
Arabie Saoudite	Japon
Argentine	Kazakhstan
Arménie	Koweït
Australie	Liban
Autriche	Lituanie
Bangladesh	Luxembourg
Bélarus	Mexique
Belgique	Norvège
Brésil	Pakistan
Bulgarie	Pays-Bas
Canada	Pérou
Chili	Pologne
Chine	Portugal
Corée, République de	République Arabe Syrienne
Costa Rica	République démocratique du Congo
Croatie	République tchèque
Danemark	Roumanie
Égypte	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord
Espagne	Slovaquie
États-Unis d'Amérique	Slovénie
Fédération de Russie	Sri Lanka
Finlande	Suède
France	Suisse
Grèce	Turquie
Guatemala	Ukraine
Hongrie	Viet Nam
Inde	Yougoslavie, République fédérale de
Iran, République islamique d'	

LIAISON INTERNATIONALE

Commission européenne

Institut de l'énergie nucléaire

Association mondiale des exploitants nucléaires