

La présente publication a été remplacée par le N° SSG-23.

COLLECTION NORMES DE SÛRETÉ DE L'IAEA

Évaluation de la sûreté
du stockage en surface
ou sub-surface
des déchets radioactifs

GUIDE DE SÛRETÉ

N° WS-G-1.1



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

PUBLICATIONS DE L'AIEA CONCERNANT LA SÛRETÉ

NORMES DE SÛRETÉ

En vertu de l'article III de son Statut, l'AIEA a pour attributions d'établir des normes de sûreté pour la protection contre les rayonnements ionisants et de prendre des dispositions pour l'application de ces normes aux activités nucléaires pacifiques.

Les publications concernant la réglementation par lesquelles l'AIEA établit des normes et des mesures de sûreté paraissent dans la **collection Normes de sûreté de l'AIEA**. Cette collection couvre la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique, la sûreté du transport et la sûreté des déchets, ainsi que la sûreté générale (c'est-à-dire intéressant plusieurs de ces quatre domaines), et comporte les catégories suivantes: **fondements de sûreté, prescriptions de sûreté et guides de sûreté**.

Les **fondements de sûreté** (lettrage bleu) présentent les objectifs, les notions et les principes fondamentaux de sûreté et de protection pour le développement et l'application de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques.

Les **prescriptions de sûreté** (lettrage rouge) établissent les prescriptions qui doivent être respectées pour assurer la sûreté. Ces prescriptions, énoncées au présent de l'indicatif, sont régies par les objectifs et les principes présentés dans les fondements de sûreté.

Les **guides de sûreté** (lettrage vert) recommandent les mesures, conditions ou procédures permettant de respecter les prescriptions de sûreté. Les recommandations qu'ils contiennent sont énoncées au conditionnel pour indiquer qu'il est nécessaire de prendre les mesures recommandées ou des mesures équivalentes pour respecter les prescriptions.

Les normes de sûreté de l'AIEA n'ont pas force obligatoire pour les États Membres, mais ceux-ci peuvent, à leur discrétion, les adopter pour application, dans le cadre de leur réglementation nationale, à leurs propres activités. L'AIEA est tenue de les appliquer à ses propres opérations et les États doivent faire de même en ce qui concerne les activités pour lesquelles elle fournit une assistance.

Pour obtenir des renseignements sur le programme de normes de sûreté de l'AIEA (y compris sur les éditions dans d'autres langues que l'anglais), il convient de consulter le site Internet de l'AIEA à l'adresse suivante:

www-ns.iaea.org/standards/

ou de s'adresser à la Section de la coordination en matière de sûreté, AIEA, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

AUTRES PUBLICATIONS CONCERNANT LA SÛRETÉ

En vertu de l'article III et du paragraphe C de l'article VIII de son Statut, l'AIEA favorise l'échange d'informations sur les activités nucléaires pacifiques et sert d'intermédiaire entre ses États Membres à cette fin.

Les rapports sur la sûreté et la protection dans le cadre des activités nucléaires sont publiés dans d'autres collections, en particulier la **collection Rapports de sûreté de l'AIEA**, à des fins d'information. Ces rapports peuvent décrire les bonnes pratiques, donner des exemples concrets et proposer des méthodes détaillées pour respecter les prescriptions de sûreté. Ils n'établissent pas de prescriptions et ne contiennent pas de recommandations.

Les autres collections contenant des publications concernant la sûreté sont les collections **INSAG, Documents techniques (TECDOC) et Cours de formation**, et, en anglais uniquement, les collections **Technical Reports Series, Radiological Assessment Reports Series, Provisional Safety Standards Series, IAEA Services Series, Computer Manual Series, Practical Radiation Safety Manuals et Practical Radiation Technical Manuals**. L'AIEA édite aussi des rapports sur les accidents radiologiques et d'autres publications spéciales.

La présente publication a été remplacée par le N° SSG-23.

ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ
DU STOCKAGE EN SURFACE OU SUB-SURFACE
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

La présente publication a été remplacée par le N° SSG-23.

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

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

Le Statut de l'Agence a été approuvé le 23 octobre 1956 par la Conférence sur le Statut de l'AIEA, tenue au Siège de l'Organisation des Nations Unies, à New York; il est entré en vigueur le 29 juillet 1957. L'Agence a son Siège à Vienne. Son principal objectif est «de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier».

© AIEA, 2004

Pour obtenir l'autorisation de reproduire ou de traduire des passages de la présente publication, s'adresser par écrit à l'Agence internationale de l'énergie atomique, Wagramer Strasse 5, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

Imprimé par l'AIEA en Autriche
Janvier 2004
STI/PUB/1075

La présente publication a été remplacée par le N° SSG-23.

COLLECTION SÉCURITÉ N° WS-G-1.1

ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ
DU STOCKAGE
EN SURFACE OU SUB-SURFACE
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE, 2004

La présente publication a été remplacée par le N° SSG-23.

CE VOLUME DE LA COLLECTION SÉCURITÉ
EST PUBLIÉ ÉGALEMENT
EN ANGLAIS, EN CHINOIS, EN ESPAGNOL ET EN RUSSE.

ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ DU STOCKAGE
EN SURFACE OU SUB-SURFACE
DES DÉCHETS RADIOACTIFS
AIEA, VIENNE, 2004
STI/PUB/1075
ISBN 92-0-201104-4
ISSN 1020-525X

AVANT-PROPOS

par **Mohamed ElBaradei**
Directeur général

Une des fonctions statutaires de l'AIEA est d'établir ou d'adopter des normes de sûreté destinées à protéger la santé, les personnes et les biens dans le cadre du développement et de l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques et de prendre des dispositions pour appliquer ces normes à ses propres opérations, ainsi qu'à celles pour lesquelles elle fournit une assistance et, à la demande des parties, aux opérations effectuées en vertu d'un accord bilatéral ou multilatéral ou, à la demande d'un État, à telle ou telle des activités de cet État dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Les organes consultatifs ci-après supervisent l'élaboration des normes de sûreté: Commission consultative pour les normes de sûreté (ACSS), Comité consultatif pour les normes de sûreté nucléaire (NUSSAC), Comité consultatif pour les normes de sûreté radiologique (RASSAC), Comité consultatif pour les normes de sûreté relatives au transport (TRANSSAC) et Comité consultatif pour les normes de sûreté relatives aux déchets (WASSAC). Les États Membres sont largement représentés au sein de ces comités.

Afin que les normes de sûreté puissent faire l'objet du consensus le plus large possible, elles sont aussi soumises à tous les États Membres pour observations avant d'être approuvées par le Conseil des gouverneurs de l'AIEA (fondements de sûreté et prescriptions de sûreté) ou par le Comité des publications au nom du Directeur général (guides de sûreté).

Les normes de sûreté de l'AIEA n'ont pas force obligatoire pour les États Membres, mais ceux-ci peuvent, à leur discrétion, les adopter pour application, dans le cadre de leur réglementation nationale, à leurs propres activités. L'AIEA est tenue de les appliquer à ses propres opérations et à celles pour lesquelles elle fournit une assistance. Tout État souhaitant conclure un accord avec l'AIEA en vue d'obtenir son assistance pour le choix du site, la conception, la construction, les essais de mise en service, l'exploitation ou le déclassement d'une installation nucléaire ou toute autre activité est tenu de se conformer aux parties des normes qui se rapportent aux activités couvertes par l'accord. Quoi qu'il en soit, il appartient toujours aux États de prendre les décisions finales et d'assumer les responsabilités juridiques dans le cadre d'une procédure d'autorisation.

Bien que les normes de sûreté établissent une base essentielle pour la sûreté, il est aussi parfois nécessaire d'incorporer des prescriptions plus détaillées conformément à l'usage national. De surcroît, il y aura souvent des aspects particuliers qui devront être soumis, cas par cas, à l'appréciation de spécialistes.

La protection physique des produits fissiles et des matières radioactives, comme celle de la centrale nucléaire dans son ensemble, est mentionnée là où il convient, mais n'est pas traitée en détail; pour connaître les obligations des États à cet égard, il convient de se reporter aux instruments et aux publications pertinents élaborés sous les auspices de l'AIEA. Les aspects non radiologiques de la sécurité du travail et de la protection de l'environnement ne sont pas non plus explicitement examinés; il est admis que les États devraient se conformer aux obligations et aux engagements internationaux qu'ils ont contractés dans ce domaine.

Les prescriptions et recommandations présentées dans les normes de sûreté de l'AIEA peuvent n'être pas pleinement satisfaites par certaines installations anciennes. Il appartient à chaque État de statuer sur la manière dont les normes seront appliquées à ces installations.

Il convient d'attirer l'attention des États sur le fait que les normes de sûreté de l'AIEA, bien que n'étant pas juridiquement contraignantes, visent à faire en sorte que l'énergie nucléaire et les matières radioactives utilisées à des fins pacifiques le soient d'une manière qui permette aux États de s'acquitter des obligations qui leur incombent en vertu des principes du droit international et de règles recueillant l'assentiment général, tels que ceux qui concernent la protection de l'environnement. En vertu de l'un de ces principes, le territoire d'un État ne doit pas servir à des activités qui portent préjudice à un autre État. Les États sont donc tenus de faire preuve de prudence et d'observer des normes de conduite.

Comme toute autre activité, les activités nucléaires civiles menées sous la juridiction des États sont soumises aux obligations que les États contractent au titre de conventions internationales, en sus des principes du droit international généralement acceptés. Les États sont censés adopter au niveau national les lois (et la réglementation), ainsi que les normes et mesures dont ils peuvent avoir besoin pour s'acquitter efficacement de toutes leurs obligations internationales.

NOTE DE L'ÉDITEUR

Lorsqu'une norme comporte un appendice, ce dernier est réputé faire partie intégrante de cette norme et avoir le même statut que celle-ci. En revanche, les annexes, notes infrapaginales et bibliographies ont pour objet de donner des précisions ou des exemples concrets qui peuvent être utiles au lecteur.

Le présent a été employé pour énoncer des prescriptions, des responsabilités et des obligations. Le conditionnel sert à énoncer des recommandations concernant une option souhaitable.

La version anglaise du texte est celle qui fait autorité. La présente traduction a été établie sous les auspices de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (France).

PRÉFACE

Les déchets radioactifs sont produits lors de la génération d'électricité nucléaire et par l'utilisation de matières radioactives dans l'industrie, la recherche et la médecine. L'importance d'une gestion sûre des déchets radioactifs pour la protection de la santé et de l'environnement est reconnue depuis longtemps et une expérience considérable a été acquise dans ce domaine.

Le programme de Normes de sûreté pour les déchets radioactifs (RADWASS) de l'AIEA vise à établir un ensemble complet et cohérent de principes, d'exigences et de recommandations pour une gestion sûre des déchets radioactifs et à formuler les directives nécessaires à leur application. Ceci est accompli dans le cadre de la collection Normes de sûreté de l'AIEA dans un ensemble de documents internes cohérents qui reflètent un consensus international. Les publications du programme RADWASS fourniront aux États Membres une collection complète de normes de sûreté internationalement reconnues qui les aidera à en déduire et à compléter des critères, normes et pratiques nationales.

Ce guide de sûreté traite de l'évaluation de la sûreté du stockage en surface ou sub-surface des déchets radioactifs. Il fournit des recommandations sur la manière de satisfaire aux exigences relatives à l'évaluation de la sûreté dans la publication de la catégorie Prescriptions de sûreté traitant du stockage en surface ou sub-surface des déchets radioactifs et des conseils sur les méthodes de réalisation des évaluations de la sûreté dans le cadre des installations de stockage de déchets radioactifs en surface ou sub-surface.

Ce guide de sûreté a été développé grâce à une série de réunions de consultants et de comités techniques et examiné par le Comité consultatif pour les normes de sûreté relatives aux déchets (WASSAC), la Commission consultative pour les normes de sûreté (ACSS) et par les États Membres.

L'AIEA tient à exprimer sa reconnaissance à tous ceux qui ont participé à la rédaction et à l'examen.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
	Généralités (1.1–1.3)	1
	Objectif (1.4)	2
	Champ d’application (1.5–1.6)	2
	Structure (1.7)	3
2.	CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES RELATIVES À L’ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ	3
	Exigences et problèmes de sûreté (2.1–2.7)	3
	Utilisations des évaluations de la sûreté (2.8–2.12)	5
	Approche itérative de l’évaluation de la sûreté (2.13–2.17)	7
3.	GUIDES POUR L’ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ	10
	Généralités (3.1–3.4)	10
	Définition des objectifs (3.5–3.6)	11
	Données requises (3.7–3.15)	12
	Définition du système (3.16–3.26)	15
	Analyse des conséquences (3.27–3.43)	20
	Présentation des résultats de l’évaluation de la sûreté (3.44–3.50) ..	26
4.	ÉTABLISSEMENT DE LA CONFIANCE	28
	Introduction (4.1–4.2)	28
	Vérification, comparaison avec les observations et validation des modèles (4.3–4.6)	29
	Analogues naturels (4.7–4.8)	31
	Assurance de la qualité (4.9)	31
	Contrôle par les pairs des évaluations de la sûreté (4.10–4.11)	32
	Autres considérations (4.12–4.13)	32
	RÉFÉRENCES	35
	PERSONNES AYANT COLLABORÉ À LA RÉDACTION ET À L’EXAMEN	36
	ORGANES CONSULTATIFS POUR L’APPROBATION DES NORMES DE SÛRETÉ	39

1. INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

1.1. Les déchets radioactifs devraient être gérés conformément aux principes de sûreté exposés dans les Fondements de la sûreté du programme RADWASS [1]. Les exigences de sûreté relatives au stockage des déchets dans des installations de surface ou sub-surface sont exposées dans la réf. [2]. L'aptitude de la méthode de stockage choisie à isoler les déchets de l'environnement humain devrait être en rapport avec la dangerosité et la durée de vie des déchets. Le stockage en surface ou sub-surface est une option utilisée pour l'élimination des déchets radioactifs contenant des radioéléments à vie courte, qui décroîtront jusqu'à des niveaux négligeables du point de vue radiologique en un temps allant de quelques dizaines d'années à quelques siècles, et ayant des teneurs suffisamment faibles en radioéléments à vie longue [2, 3]. Les stockages en surface ou sub-surface se répartissent en deux catégories principales: (1) installations constituées d'unités de stockage situées au-dessus (tumulus, etc.) ou en-dessous (tranchées, puits de stockage, etc.) de la surface du sol d'origine; et (2) installations dans des cavités creusées dans le roc. Dans le premier cas, la couverture des déchets a généralement une épaisseur de plusieurs mètres tandis que, dans le deuxième cas, la couche de roche au-dessus des déchets peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

1.2. Le stockage en surface ou sub-surface est pratiqué dans un certain nombre de pays, dans certains cas depuis les années 40, avec de larges variations du point de vue des sites, des types et quantités de déchets radioactifs et de la conception des installations. Si son implantation, sa conception et sa construction sont convenables, un stockage en surface ou sub-surface fournit un isolement économique et sûr de certains déchets radioactifs. La sûreté d'une installation de stockage et la confiance que la population lui accorde peuvent être améliorées ou dépendent en partie des contrôles institutionnels post-fermeture (qui incluent des contrôles actifs, comme le contrôle des performances de l'installation, la surveillance radiologique, les éventuelles mesures correctives et des contrôles passifs, comme le contrôle de l'occupation des sols et la conservation d'archives). La planification de tels contrôles, si elle est requise dans le cadre du système de confinement des installations de stockage en surface ou sub-surface, devrait faire l'objet d'une attention particulière. La durée des contrôles nécessaires pour garantir la sûreté dépendra de facteurs tels que les caractéristiques des déchets, les problèmes institutionnels, les facteurs économiques, les caractéristiques du site et la conception des installations.

Cependant, les contrôles institutionnels actifs des installations de stockage en surface ou sub-surface sont généralement considérés comme ayant une efficacité pouvant atteindre quelques centaines d'années.

1.3. L'évaluation de la sûreté est une procédure d'évaluation des performances d'un système de stockage et, comme objectif principal, de son impact radiologique potentiel sur la santé de l'homme et sur l'environnement. L'évaluation de la sûreté des installations de stockage en surface ou sub-surface devrait comporter l'étude des impacts à la fois lors de la phase opérationnelle et lors de la phase post-fermeture. Les impacts radiologiques potentiels après la fermeture du stockage peuvent résulter de processus progressifs, comme la dégradation des barrières, et d'événements ponctuels qui peuvent avoir une incidence sur l'isolement des déchets. La probabilité d'une intrusion humaine involontaire peut être considérée comme négligeable pendant toute la période où les contrôles institutionnels actifs sont présumés être complètement efficaces, mais peut augmenter après. L'acceptabilité technique d'une installation de stockage dépendra fortement de l'inventaire des déchets, des caractéristiques techniques du stockage et de l'adéquation du site. Elle devrait être jugée en fonction des résultats des évaluations de la sûreté, qui devraient garantir avec une raisonnable assurance que l'installation de stockage satisfera aux objectifs de conception, aux normes de performance et aux critères réglementaires. Ces derniers sont spécifiés dans les Prescriptions de sûreté [2] et traités plus en détail dans ce guide de sûreté et le guide connexe [4].

OBJECTIF

1.4. L'objectif de ce guide de sûreté est de fournir des recommandations sur la façon de satisfaire aux exigences relatives à l'évaluation de la sûreté des installations de stockage en surface ou sub-surface. Ce guide récapitule les considérations les plus importantes pour l'évaluation de la sûreté des stockages en surface ou sub-surface et fait des recommandations sur les étapes à suivre lors de la réalisation de ces évaluations.

CHAMP D'APPLICATION

1.5. Ce guide de sûreté couvre l'évaluation de la sûreté des installations de stockage en surface ou sub-surface pour les déchets radioactifs sous forme solide. Il inclut une étude de la phase opérationnelle et de la phase post-fermeture mais met l'accent sur les problèmes post-fermeture, étant donné que l'éva-

luation de la sûreté de l'exploitation des stockages en surface ou sub-surface est similaire à celle de la sûreté d'exploitation des installations de gestion des déchets. Ce guide de sûreté ne couvre pas les évaluations de la sûreté du stockage géologique, des résidus miniers et des déchets des usines de concentration de minerais radioactifs ou des déchets résiduels provenant des opérations de restauration de sites et restant sur les sites.

1.6. Bien que les déchets radioactifs puissent contenir des composants non radioactifs potentiellement dangereux, ce guide de sûreté ne prend explicitement en compte que le risque radiologique associé aux déchets.

STRUCTURE

1.7. Les conseils contenus ici incluent des recommandations sur les considérations générales concernant l'évaluation de la sûreté correspondant à l'option de stockage en surface ou sub-surface (section 2) et des guides pour les actions majeures constituant une évaluation de la sûreté (section 3). De plus, les activités nécessaires à l'établissement de la confiance et au développement d'une base garantissant de manière raisonnable que les normes réglementaires ont été respectées par le système de stockage sont étudiées (section 4).

2. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES RELATIVES À L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

EXIGENCES ET PROBLÈMES DE SÛRETÉ

Phase opérationnelle

2.1. Les exigences de la réf. [2] précisent que la radioprotection des personnes exposées suite à des opérations dans les installations de stockage des déchets doit être optimisée et que les expositions des individus doivent rester comprises dans des limites de dose. L'élaboration d'une politique de radioprotection pour le stockage de déchets radioactifs est indiquée dans la réf. [5].

2.2. Lors de la phase d'exploitation d'une installation de stockage en surface ou sub-surface, une exposition aux rayonnements de la population peut survenir, bien qu'à de faibles niveaux, directement ou à cause de rejets d'effluents

liquides ou gazeux à partir du site. Tout rejet dans l'environnement devrait être contrôlé et limité de manière à ce que les expositions des travailleurs ou des personnes du public restent aussi faibles que raisonnablement possible, les facteurs économiques et sociaux étant pris en compte, et à l'intérieur de contraintes et de limites appropriées, indiquées dans les Normes fondamentales internationales [6] et dans la réf. [5].

2.3. En plus de l'exposition courante des travailleurs et des personnes du public, il faut également prendre en compte les expositions potentielles dans des situations exceptionnelles ou en cas d'accident. Elles pourraient inclure, par exemple, un incendie concernant des colis de déchets ou leur endommagement au cours de leur manutention sur le site. Les exigences relatives à la gestion de tels risques sont données dans la réf. [6].

Phase post-fermeture

2.4. Pour la phase post-fermeture des installations de stockage en surface ou sub-surface, le problème de sûreté principal est la possibilité d'une exposition aux rayonnements et d'impacts sur l'environnement dans un avenir lointain. On peut supposer l'apparition de certains effets due, par exemple, à la lixiviation progressive des radioéléments dans les eaux souterraines, leur migration ultérieure dans l'environnement et leur transfert aux êtres humains. Les évaluations peuvent, de ce fait, nécessiter une projection du comportement du site et de l'installation sur des périodes de l'ordre de quelques centaines, voire même quelques milliers d'années. Les difficultés associées à la projection du comportement du site et du stockage sur de telles périodes (voir par. 3.34 et 3.38) sont les éléments qui distinguent les évaluations post-fermeture des évaluations plus classiques de la sûreté en exploitation. Les évaluations post-fermeture devraient également tenir compte des autres types d'exposition qui ne peuvent se produire qu'à la suite de certains événements. Ces événements peuvent être, par exemple, une dislocation des barrières de confinement ou des événements climatiques inhabituels. L'objectif des évaluations post-fermeture est d'obtenir une raisonnable assurance que le système de stockage fournira un niveau de sûreté suffisant, plutôt que de prédire ses performances futures de quelque manière que ce soit.

2.5. Les événements induits par des activités humaines peuvent également conduire à une exposition mais sont difficiles à prévoir. Une ou plusieurs des mesures suivantes peu(ven)t servir efficacement à limiter les conséquences associées aux activités humaines: limitation de la teneur en radioéléments

spécifiques; mise en œuvre d'un contrôle institutionnel; utilisation de critères de conception comme une profondeur minimale pour le stockage.

2.6. Les exigences relatives à la sûreté au cours de la période post-fermeture sont exposées dans la réf. [2]. Les critères numériques sont exprimés en dose de rayonnement ou en contraintes de risque et sont destinés à s'appliquer à l'évaluation des rejets normaux ou progressifs et des processus de dislocation décrits dans les par. 2.4 et 2.5.

2.7. La décision éventuelle relative à l'acceptabilité d'une installation de stockage devrait être basée sur une raisonnable assurance que les exigences de sûreté ont été respectées [2]. Les approches pratiques pour obtenir une raisonnable assurance de la conformité aux obligations réglementaires sont basées sur l'évaluation de la sûreté et incluent des principes techniques de gestion reconnus comme la défense en profondeur, une conception technique robuste, l'assurance de la qualité, la culture de sûreté et les contrôles institutionnels.

UTILISATIONS DES ÉVALUATIONS DE LA SÛRETÉ

2.8. Les évaluations de la sûreté ont différents buts aux divers stade de développement, d'exploitation et de fermeture d'une installation de stockage. Au début, les évaluations de la sûreté devraient être utilisées pour déterminer la faisabilité des principaux concepts de stockage, pour diriger les investigations sur le site et pour aider aux prises de décision initiales. Leur utilisation est encore plus importante dans les phases qui suivent le développement du concept initial et la sélection du site. Ces évaluations devraient être ensuite développées pour aider à l'optimisation du système et à la conception des installations en effectuant des évaluations comparatives de différents types de colis, de modules de stockage, et de mesures de gestion de site et de fermeture.

2.9. L'exhaustivité et la robustesse de l'évaluation de la sûreté dépendra à son tour de l'éventail et de la qualité des données en ce qui concerne les informations pertinentes sur la caractérisation des déchets, sur la caractérisation du site, sur les performances des colis de déchets, et sur la fonction et les performances des autres barrières de confinement. Une coordination étroite entre l'évaluation de la sûreté et les programmes d'acquisition des données support est donc nécessaire, l'évaluation de la sûreté étant un moyen efficace d'identification et de classement par ordre de priorité des travaux de recherche et de développement.

2.10. Une des fonctions principales de l'évaluation de la sûreté réside dans le processus de demande d'autorisation et d'approbation. Ceci inclut les aspects radiologiques et environnementaux. De telles évaluations de la sûreté à des fins réglementaires peuvent être requises à divers stades du processus d'octroi des autorisations, incluant l'approbation concernant la construction, l'exploitation et la fermeture de l'installation de stockage, et à chaque fois qu'il y a des modifications importantes de l'état du stockage. L'évaluation de la sûreté devrait, de ce fait, être effectuée et mise à jour tout au long des stades correspondants de développement de l'installation de stockage en utilisant des modèles et des données appropriés.

2.11. Les résultats des évaluations de la sûreté sont un moyen important pour confirmer l'acceptabilité de l'inventaire et/ou des niveaux de concentration pour des radioéléments spécifiques se trouvant dans les déchets [7] et pour permettre de développer les exigences relatives à l'acceptation des déchets pour l'installation de stockage en sub-surface. Les inventaires acceptables dépendent généralement de l'analyse de scénarios de relâchement de radioéléments dans l'environnement et de leurs voies de transfert. L'étude de scénarios d'intrusion humaine est également importante et détermine souvent les niveaux acceptables pour les radioéléments à vie longue dans le stockage. Il faudrait noter, toutefois, que de grandes quantités de radioéléments à vie courte peuvent présenter des problèmes potentiels pour la sûreté opérationnelle et post-fermeture, et ceci devrait être pris en compte pour l'évaluation de la sûreté et lors de l'établissement des limites pour l'inventaire et les concentrations de radioéléments (voir par. 2.5). De plus, les évaluations de la sûreté devraient également être utilisées pour déterminer les niveaux des substances chimiques dans les déchets qui pourraient entraîner une dégradation des barrières de confinement.

2.12. L'évaluation de la sûreté et les conditions d'octroi des autorisations associées déterminent, dans une large mesure, certains des contrôles principaux et certaines des exigences concernant l'installation de stockage. Par exemple, lors de l'établissement des critères d'acceptation des déchets pour l'installation de stockage, l'évaluation de la sûreté devrait être utilisée pour déterminer les exigences concernant les colis de déchets et les niveaux d'inventaire, pour les colis individuels et pour le site dans sa totalité. L'évaluation de la sûreté devrait également être utilisée pour évaluer les voies d'exposition éventuelles et pour établir et examiner le programme de contrôle radiologique environnemental du site et des zones périphériques. L'évaluation de la sûreté devrait être basée sur la conception réellement utilisée ou proposée pour l'installation de stockage et la gestion du site au cours de la phase opérationnelle et de la période de contrôle institutionnel actif, si elle existe, et après sa fermeture [2].

APPROCHE ITÉRATIVE DE L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

Considérations générales

2.13. Une représentation schématique de la méthode recommandée pour l'évaluation de la sûreté est présentée sur la fig. 1. Cette approche comporte les activités suivantes qui généralement se répètent et/ou se recouvrent:

- définition des objectifs de l'évaluation, des exigences relatives à la sûreté et des critères de performance;
- acquisition des informations et description du système de stockage, incluant la forme des déchets, les caractéristiques du site et les structures mises en place;
- identification des caractéristiques, événements et processus (CEP) qui peuvent influencer sur les performances à long terme;
- développement et test des modèles conceptuels et mathématiques du comportement du système et de ses composants;
- identification et description des scénarios pertinents;
- identification des voies pouvant éventuellement conduire au transfert de radioéléments de l'installation de stockage aux êtres humains et à l'environnement;
- conduite de l'évaluation à l'aide d'une modélisation conceptuelle et mathématique;
- évaluation de la robustesse de l'évaluation;
- comparaison des résultats de l'évaluation avec les exigences de sûreté désignées; et
- autres considérations.

2.14. Un problème essentiel des évaluations de la sûreté pour l'installation de stockage est de développer la confiance accordée aux résultats de la modélisation. Le modèle conceptuel du système de stockage en surface et sub-surface est une description en termes de dispositions générales existantes et de leurs caractéristiques détaillées. Parmi les caractéristiques les plus importantes on peut citer celles qui identifient l'importance relative des chemins possibles pour le transfert des radioéléments, dénommés voies de rejet. Au cours du temps, les phénomènes naturels et les activités humaines sont présumés altérer les caractéristiques du système. La description des événements futurs s'appelle un scénario. Les scénarios traitent des phénomènes naturels et des modifications progressives ou brusques des conditions qui peuvent entraîner des modifications des performances de l'installation de stockage avec le temps. Ces situations futures sont généralement évaluées pour le stockage en surface ou

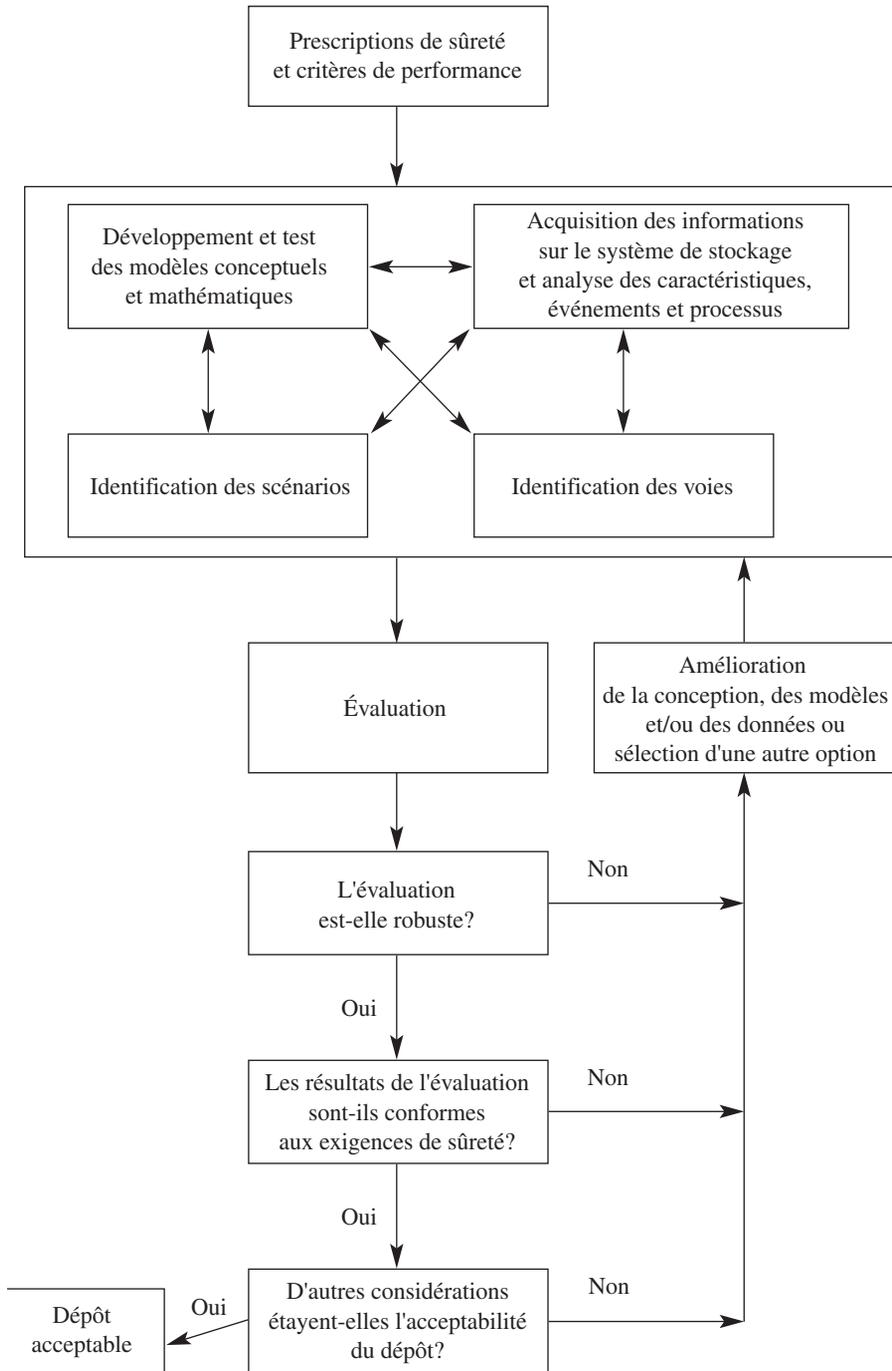


FIG. 1. Approche itérative de l'évaluation de la sûreté.

sub-surface en modélisant les performances de l'installation dans des conditions hypothétiques [8, 9]. L'évaluation de la sûreté pour l'installation de stockage devrait être robuste, c'est-à-dire posséder une tolérance aux incertitudes. Les résultats de l'évaluation, incluant l'identification des incertitudes, devraient être comparés aux objectifs de conception et aux critères réglementaires, compte tenu des autres points d'argumentation et des considérations contribuant à l'acceptabilité de l'installation de stockage.

2.15. La caractérisation du système et la description des voies de rejet requièrent l'acquisition des données appropriées au moyen d'expériences sur le terrain ou en laboratoire. L'analyse de scénarios requiert l'identification et la définition des phénomènes pouvant initier ou augmenter le rejet de radioéléments de l'installation de stockage et entraîner une exposition pour les êtres humains. Tout au long du processus itératif de l'évaluation de la sûreté, l'acquisition de données supplémentaires, axée sur les paramètres identifiés comme étant importants pour la sûreté de l'installation de stockage, peut être nécessaire.

Processus d'évaluation de la sûreté

2.16. La première étape du processus devrait être d'effectuer des calculs préalables de sélection pour évaluer le modèle conceptuel proposé et pour se concentrer sur les radioéléments, les voies et les mécanismes de rejet pertinents pour lesquels des connaissances approfondies sont nécessaires. Les calculs préalables de sélection ne nécessitent qu'un nombre limité de données sur les caractéristiques des colis de déchets ainsi que sur l'identification des voies principales de rejet. Ces données peuvent être obtenues, par exemple, à l'aide de recherches bibliographiques, de spécifications des matériaux, d'études de laboratoire et d'études des analogues naturels, de contrôle radiologique pré-opérationnel des zones périphériques, d'investigations préliminaires sur le site et de caractérisation des déchets. Ce processus devrait se poursuivre par l'acquisition de données supplémentaires, par exemple, à l'aide d'investigations sur le terrain et en laboratoire et d'une modélisation appropriée, au fur et à mesure que se développe la conception, jusqu'à l'obtention d'un niveau de confiance raisonnable sur la capacité de l'installation de stockage à satisfaire aux exigences de sûreté assignées et conduisant à l'acceptation de l'installation de stockage ou jusqu'à ce que le concept étudié soit finalement considéré comme étant inacceptable.

2.17. Lors de ce processus, les scénarios pertinents devraient être identifiés [9, 10]. La détermination du bien-fondé de chaque scénario vis-à-vis de l'évaluation

de l'installation de stockage et du site peut nécessiter des études support et la collecte de données supplémentaires et requérir des itérations supplémentaires du processus d'évaluation de la sûreté. De telles études et analyses peuvent également servir à réduire les incertitudes lors des études de quantification des événements et des phénomènes qui conduisent au transfert et au rejet des radioéléments. Même si les évaluations de la sûreté sont robustes, c'est-à-dire s'appuient, par exemple, sur des hypothèses conservatives clairement identifiées et reconnues comme telles par l'organisme de réglementation, les prévisions à long terme présentent inévitablement une incertitude plus grande. En conséquence, il peut être nécessaire de prévoir une période de comparaison entre les résultats du contrôle radiologique du terrain et les valeurs de paramètre utilisées dans les analyses. La prolongation du contrôle radiologique pendant la période des contrôles actifs (ou une partie de celle-ci) est donc généralement considérée comme utile et constitue souvent une obligation réglementaire. Dans ce cas, le programme de contrôle radiologique post-fermeture devrait satisfaire aux besoins identifiés lors du processus d'évaluation de la sûreté.

3. GUIDES POUR L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

GÉNÉRALITÉS

3.1. L'évaluation de la sûreté requiert le développement d'arguments qualitatifs et quantitatifs dépendant des résultats de la caractérisation du site, des caractéristiques des déchets, des données de conception et de la modélisation mathématique. Les résultats des évaluations fournissent, à leur tour, les données d'entrée nécessaires aux prises de décision tout au long du développement des systèmes de stockage. Les hypothèses et les jugements sur lesquels se base l'évaluation de la sûreté doivent être robustes et facilement communicables à un grand éventail de parties intéressées de manière à susciter la confiance dans les résultats de l'évaluation de la sûreté.

3.2. Pour l'évaluation de la sûreté, la validité des résultats fournis par les modèles mathématiques devrait être étudiée en tenant compte des incertitudes des données d'entrée des modèles, des hypothèses faites dans les différentes parties du modèle, des hypothèses faites sur les interfaces entre les parties individuelles du modèle global et des incertitudes liées à l'évolution à long terme des systèmes de stockage. Toutes ces incertitudes devraient faire l'objet d'une investigation à l'aide d'analyses de sensibilité et d'incertitude complétées par

d'autres méthodes destinées à instaurer la confiance (voir section 4) et, le cas échéant, par des jugements d'experts.

3.3. L'utilisation d'avis d'experts et d'autres activités d'évaluation de sûreté lors du développement de la base qui servira à obtenir une raisonnable assurance que les normes réglementaires ont été respectées par le système de stockage en surface ou sub-surface devrait commencer lors des toutes premières phases de développement de l'installation de stockage (voir par. 2.8).

3.4. La section 3 prodigue des conseils généraux permettant à l'exploitant et au responsable de la réglementation de développer le cadre nécessaire pour l'évaluation de la sûreté et d'élaborer des guides spécifiques pour les diverses activités constituant l'évaluation de la sûreté des stockages en surface ou sub-surface conformément aux recommandations internationales et aux obligations réglementaires nationales.

DÉFINITION DES OBJECTIFS

3.5. L'évaluation de la sûreté joue un rôle essentiel et peut être utilisée pour de multiples fonctions dans le développement d'une installation de stockage en surface et sub-surface (voir section 2). Ces diverses utilisations pouvant nécessiter différents niveaux de détail d'analyse et impliquer différents besoins en données ou une présentation différente des résultats pour les différentes parties concernées comme les spécialistes techniques et les non-spécialistes, l'objectif de l'évaluation de la sûreté devrait être clairement défini en fonction de l'application spécifique.

3.6. Une partie des résultats des évaluations est constituée de résultats numériques utilisés pour comparer les performances prévues du système aux critères établis. Ceci nécessite une identification adéquate et, sur la base des données pertinentes, un examen approfondi de la totalité des caractéristiques, événements et processus importants. La compréhension du comportement d'un système de stockage et de ses interactions avec l'environnement naturel et humain est facilitée par le développement d'un ensemble de modèles. L'évaluation quantitative des effets requiert une modélisation mathématique assistée par l'utilisation de programmes informatiques. Les modèles sont simplifiés dans une certaine mesure, en fonction du but pour lequel le modèle a été développé. La complexité nécessaire d'un modèle devrait être soigneusement étudiée du fait que le modèle le plus complexe et le plus détaillé n'est pas nécessairement le mieux adapté à une utilisation spécifique.

DONNÉES REQUISES

Types de données

3.7. La quantité et la qualité des données requises dépendront du but de l'évaluation. Une évaluation préliminaire ne nécessitera probablement que des modèles simples utilisant des données facilement disponibles. Les résultats ne seront normalement utilisés que comme guide pour des études ultérieures [9]. Dans ce cas, seule une estimation sommaire des incertitudes associées aux résultats est nécessaire. Lors de la finalisation du concept au cours du processus d'autorisation des différents stades de développement de l'installation de stockage, l'exploitant devrait justifier la demande à l'aide d'une évaluation basée sur une quantité suffisante et probablement importante de données avérées décrivant les caractéristiques du site, de la conception et des déchets. Bien que des procédures et un programme d'assurance de la qualité devraient être établis (et suivis) aussi tôt que possible dans le processus, on admet qu'une telle quantité et une telle qualité de données peuvent ne pas être nécessaires au début des phases de conception et de définition de l'installation de stockage. L'exploitant devrait planifier soigneusement le programme d'acquisition des données pour garantir que les objectifs sont atteints de manière efficace en termes de coûts.

3.8. Les données nécessaires proviendront de plusieurs sources, avec des niveaux de détail et des valeurs d'incertitude qui dépendront de l'objectif de l'évaluation de sûreté spécifique. En général, les données requises se rapportent à ce qui suit:

- (a) caractéristiques des déchets (composition des radioéléments en fonction du temps, inventaire total, caractéristiques physiques et chimiques, y compris les taux de production de gaz, les paramètres de transfert de masse dans les conditions du stockage);
- (b) caractéristiques du conteneur de stockage (performances mécaniques et chimiques dans les conditions du stockage);
- (c) caractéristiques du stockage (dimensions, matériau de remplissage/tampon, matériau de structure, dispositions constructives);
- (d) caractéristiques du site (géologie, hydrogéologie, propriétés géochimiques, conditions climatiques);
- (e) caractéristiques de la biosphère (habitat naturel, conditions atmosphériques, conditions aquatiques); et
- (f) caractéristiques démographiques et socio-économiques (occupation des sols, habitudes alimentaires, répartition de la population).

Collecte et exploitation des données disponibles

3.9. Les données nécessaires à la définition de l'installation de stockage sont normalement recueillies grâce à des recherches bibliographiques, à la collecte de spécifications sur les matériaux et à des investigations spécifiques très limitées concernant le site ou la conception. Ces données peuvent être utilisées pour effectuer des analyses préliminaires et pour développer des concepts préliminaires. Le modèle conceptuel de base du système de stockage en surface ou sub-surface sera développé sur la base de ces données. Une évaluation préliminaire de la sûreté, à ce stade, peut être effectuée comme vérification de l'aptitude du système à fonctionner correctement. Étant donné que seules quelques données peu détaillées sont généralement disponibles à ce stade de l'évaluation de la sûreté, des modèles simples conviennent bien.

Programme d'acquisition des données

3.10. Les activités de collecte de données devraient être ciblées sur des besoins en données définis sur la base de la conception initiale, de la connaissance du site et des résultats de l'évaluation préliminaire de la sûreté du système de stockage en surface ou sub-surface. Sur la base de la conception préliminaire, des informations disponibles sur les caractéristiques du site et de l'évaluation préliminaire, il devrait être possible de commencer à déterminer le niveau de détail nécessaire pour fournir une base pour l'assurance de sûreté en conformité avec les obligations réglementaires. Des liens directs entre l'évaluation de la sûreté et la collecte de données de caractérisation du site devraient être établis dans un programme d'acquisition de données. Par exemple, si les fractures jouent un rôle dans les prévisions de transfert via les eaux souterraines, les détails appropriés du système de fractures comme la transmissibilité, la connectivité et l'orientation seront nécessaires. Si l'évaluation préliminaire de la sûreté indique que, pour l'inventaire prévu de radioéléments, la rétention par le milieu géologique joue un rôle mineur dans la réduction des teneurs en contaminant sur le récepteur, il ne faudrait pas consacrer trop d'efforts lors de son étude ultérieure. Si la stabilité à long terme de l'installation dépend des propriétés mécaniques du conditionnement des déchets, de la charge maximale admissible pour le milieu hôte ou de l'activité sismique, les activités de collecte de données devraient mettre l'accent sur l'obtention de ces informations.

3.11. Les résultats de l'évaluation de la sûreté peuvent indiquer des besoins supplémentaires. Les analyses de sensibilité et d'incertitude peuvent indiquer que les résultats de l'évaluation de la sûreté sont particulièrement sensibles à un paramètre. Ceci pourrait identifier la nécessité d'effectuer des études

complémentaires permettant une détermination plus précise et exacte de ce paramètre ou de modifier la conception ou les modèles. La collecte de données supplémentaires peut continuer, par exemple, pour accroître la confiance accordée aux résultats de l'évaluation.

Données du contrôle radiologique pré-opérationnel

3.12. Les conditions ambiantes devraient être définies pour une installation de stockage en surface ou sub-surface comme base de référence pour la mesure des performances lors de l'exploitation et lors de la période de contrôle radiologique post-fermeture. Les mesures de bruit de fond sont normalement effectuées pour les radioéléments et pour certains autres paramètres «indicateurs». Ceci peut inclure les données relatives à l'hydrologie de surface, au climat local ou à la chimie des eaux souterraines. Le contrôle radiologique pré-opérationnel peut également rassembler les données importantes pour l'évaluation de la sûreté et peut fournir un point de repère pour le test des modèles.

3.13. Les paramètres du site supposés varier avec le temps, comme ceux utilisés pour étalonner les modèles de flux hydrologique ou les modèles de transport atmosphérique utilisés pour l'évaluation de la sûreté, devraient être mesurés avec une régularité permettant l'estimation de leur variabilité. Pour certains paramètres, il peut être important de déterminer les valeurs extrêmes de la variabilité. Ceci peut nécessiter une période prolongée de mesure. Aussi, comme il existe souvent un délai entre la collecte des données du site, l'analyse des données, la préparation des documents nécessaires à l'octroi de l'autorisation et l'examen par l'organisme de réglementation, il faudrait prévoir de continuer les mesures des paramètres variant avec le temps, tout au long de cette période le cas échéant, pour accroître la fiabilité des informations disponibles.

Données du contrôle radiologique opérationnel et post-fermeture

3.14. Les données du contrôle radiologique opérationnel peuvent indiquer des différences par rapport aux conditions prévues. Dans ce cas, des modifications des procédures opérationnelles ou autres actions correctrices devraient être envisagées. Les raisons de ces différences devraient être identifiées et utilisées pour améliorer la compréhension du système. Le système de contrôle radiologique devrait alors être réexaminé. Lorsque des écarts significatifs par rapport aux conditions prévues sont observés, une nouvelle évaluation de la sûreté pourrait être exigée pour confirmer que les objectifs de conception restent valides.

3.15. Le contrôle radiologique post-fermeture devrait être utilisé pour vérifier l'absence d'impact radiologique inacceptable [2] et pour apporter la confirmation de certains autres aspects des performances du système. Par exemple, l'infiltration à travers les revêtements mis en œuvre peut être contrôlée et comparée aux valeurs prévues pour aider à la validation des modèles utilisés. Toutefois, les programmes nationaux ne prévoient généralement pas d'utiliser les données du contrôle post-fermeture pour confirmer les doses estimées. Ceci est dû au fait que les conséquences estimées sont généralement faibles et sont censées survenir dans un avenir lointain.

DÉFINITION DU SYSTÈME

3.16. L'évaluation de la sûreté d'un système de stockage en surface ou sub-surface est basée sur une approche multidisciplinaire de la définition du système et sur une analyse systématique des ensembles d'événements et de processus possibles pouvant affecter les performances du système de stockage [11]. La description du système de stockage en surface ou sub-surface nécessite des informations sur les caractéristiques des déchets, la conception de l'installation de stockage et les propriétés du site, et constitue la base du développement d'un modèle conceptuel du système de stockage des déchets, des scénarios de son comportement possible et de l'évaluation des voies de migration potentielles des radioéléments.

Développement du modèle conceptuel

3.17. Le but ultime du développement du modèle conceptuel est de fournir un cadre qui permettra de juger le comportement de la totalité du système de stockage. Si possible, le modèle devrait être assez détaillé pour que des modèles mathématiques puissent être développés afin de décrire le comportement du système et de ses composants et de fournir ainsi une estimation des performances du système au fil du temps. Différents niveaux de détail seront nécessaires aux différents stades au fur et à mesure que l'évaluation itérative de la sûreté sera effectuée et qu'éventuellement une décision d'octroi de licence sera prise. Le modèle devrait être aussi simple que possible mais devrait inclure suffisamment de détails pour représenter convenablement le comportement du système dans le but de garantir la conformité aux exigences de sûreté.

3.18. Le développement d'un modèle conceptuel devrait inclure les étapes suivantes:

- (a) Identification et caractérisation des déchets du point de vue de l'inventaire et de la forme des déchets et colis. Ces informations devraient être suffisamment détaillées pour permettre une modélisation adéquate du rejet des radioéléments, c'est-à-dire le terme source. Au minimum, les informations devraient être fournies comme base de justification d'un modèle simple de rejet, comme par exemple en supposant que le taux de rejet est constant ou qu'une proportion fixe est rejetée chaque année. Le modèle conceptuel du terme source peut être affiné par itération au fur et à mesure que des informations sur les déchets et le système de stockage sont obtenues.
- (b) Caractérisation du site de stockage par les paramètres nécessaires, incluant la géologie, l'hydrogéologie, la géochimie, la tectonique et la sismicité, les processus de surface, la météorologie, l'écologie et la répartition des populations locales ainsi que leurs pratiques sociales et économiques. Ces informations sur le site sont nécessaires pour définir les voies de rejet et les récepteurs et développer ainsi un modèle conceptuel physique, chimique et biologique du site.
- (c) Spécification de la conception des installations. Avant que l'évaluation ne démarre, la conception devrait être spécifiée du point de vue des matériaux utilisés et des composants du système. Les modifications de conception, sur la base de l'évaluation de la sûreté ou autre, peuvent nécessiter une mise à jour de l'évaluation de la sûreté.
- (d) Une connaissance accrue du site pourrait amener à penser qu'un ou plusieurs autres modèles conceptuels possibles existent et devraient être envisagés. Lorsque d'autres modèles ont été envisagés et écartés, les raisons devraient être clairement documentées et, le cas échéant, identifiées dans l'évaluation de la sûreté.

Développement du modèle mathématique

3.19. Le développement du modèle mathématique à partir du modèle conceptuel est une étape importante dans laquelle le modèle conceptuel est exprimé quantitativement à l'aide d'équations mathématiques dans un modèle de calculs. Les procédures générales utilisées pour développer de tels modèles sont bien admises, et des modèles mathématiques prévisionnels variant du point de vue niveau de détail et complexité ont été développés pour les domaines principaux. Elles devraient être utilisées pour décrire les processus individuels, les sous-systèmes et les performances globales du système. Lors du passage des modèles conceptuels aux modèles mathématiques et finalement à l'implémentation à l'aide de techniques de calcul, des erreurs, dues aux simplifications, approximations, hypothèses de modélisation ou méthodes mathématiques

utilisées, peuvent être introduites. De ce fait, les modèles utilisés pour l'évaluation des performances devraient être testés et mis à jour en fonction de la comparaison de leurs résultats avec les données empiriques (section 4), et aussi au cours du processus de leur développement sur la base d'un contrôle par les pairs, de comparaisons inter-codes, de comparaisons avec d'autres évaluations de performances, de résultats d'expériences effectuées pour tester les aspects spécifiques des modèles conceptuels et mathématiques, et de comparaisons avec des cas pour lesquels des solutions analytiques existent.

Analyse des caractéristiques, événements et processus (CEP)

3.20. L'examen systématique des caractéristiques, événements et processus (CEP) potentiels devrait être utilisé pour identifier les facteurs qui peuvent influencer sur la sûreté à long terme d'une installation de stockage et aider ainsi au développement d'un modèle approprié d'évaluation de la sûreté. Le modèle d'évaluation de la sûreté peut être élaboré à l'aide d'une analyse de scénarios ou à l'aide d'autres techniques telles que l'espace des paramètres d'échantillonnage.

3.21. La première étape pour identifier, parmi les nombreux phénomènes, lesquels sont pertinents pour l'évaluation de la sûreté devrait consister à établir une liste de contrôle telle que celle présentée dans le tableau I. Plus récemment, les informations sur les CEP ont été rassemblées au niveau international par des groupes de travail de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Lors du développement d'une liste adéquate de scénarios, les rubriques suivantes devraient être prises en compte:

- (1) processus et événements d'origine naturelle;
- (2) processus attribuables aux déchets eux-mêmes ou aux caractéristiques de l'installation de stockage en surface ou sub-surface; et
- (3) activités humaines.

Analyse de scénarios

3.22. Les scénarios dépendent des caractéristiques de l'environnement, du système de stockage, et des événements et processus qui peuvent entraîner un rejet de radioéléments des déchets ou influencer sur leur devenir et leur transfert aux êtres humains et à l'environnement. Le choix des scénarios appropriés et des modèles conceptuels associés devrait faire l'objet d'une attention toute particulière de la part de l'exploitant et du responsable de la réglementation étant

TABLEAU I. PHÉNOMÈNES SE RAPPORTANT À L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ DES DÉPÔTS AU VOISINAGE DE LA SURFACE (Réf. [8] modifiée)

PROCESSUS ET ÉVÉNEMENTS NATURELS

Intrusion biologique

Animaux

Végétaux

Formation de failles/sismicité

Processus météorologiques et changements climatiques

Interactions des fluides

Érosion

Inondation

Fluctuations de la nappe phréatique

Écoulement des eaux souterraines

Eau d'infiltration

Altération climatique

Détérioration avec le temps

Gel/dégel

Mouillage/séchage

ÉVÉNEMENTS ET PROCESSUS DES DÉCHETS RADIOACTIFS ET DE L'INSTALLATION DE STOCKAGE

Obstruction du système de drainage

Mauvais emplacement des déchets

Défaillance du revêtement supérieur

Présence/génération de composés chimiques pouvant altérer les performances de la barrière, par exemple, des agents complexants

Génération de gaz

Compaction des déchets et du sol

Interaction déchets/sol

ACTIVITÉS HUMAINES

Activités de construction

Agriculture

Exploitation des eaux souterraines

Habitation

Récupération

Réutilisation de matériaux stockés

Archéologie

Autres activités industrielles

^a Cette liste est donnée à titre indicatif et ne doit pas être considérée comme exhaustive (voir par. 3.21).

donné que ceci peut influencer fortement sur les analyses ultérieures du système de stockage des déchets. Dans certains pays, les scénarios sont spécifiés par les responsables de la réglementation, bien que l'exploitant puisse choisir d'en prendre d'autres en considération. Dans d'autres pays, l'exploitant peut sélectionner les scénarios et être obligé de justifier son choix au responsable de la réglementation.

3.23. Les scénarios d'évolution normale sont généralement basés sur une extrapolation des conditions existantes dans le temps et incorporent les modifications dont on prévoit l'apparition au cours du temps. Étant donné qu'il peut exister un large éventail d'évolutions possibles, un ensemble de scénarios d'évolution normale devrait être développé pour avoir une raisonnable assurance que l'évolution réelle fera partie de cet éventail de possibilités. Les événements qui sont moins susceptibles de se produire peuvent introduire de fortes perturbations dans le système et nécessiter des scénarios alternatifs. Certains de ces scénarios peuvent être gérés en utilisant les mêmes modèles mais avec des paramètres révisés. D'autres scénarios peuvent nécessiter de nouveaux modèles. La conception choisie sera probablement basée sur le scénario d'évolution normale mais devra être modifiée peut-être pour tenir compte des résultats de l'évaluation basée sur d'autres scénarios.

3.24. Un grand nombre de scénarios devraient être envisagés et documentés de manière à développer aussi complètement que possible la compréhension du système. Toutefois, lorsqu'il existe des alternatives, il faudra choisir, pour l'évaluation détaillée, les scénarios qui sont les plus probables ou qui sont relativement improbables mais peuvent entraîner des conséquences majeures. La sélection des scénarios pour l'évaluation détaillée devrait être clairement justifiée dans les documents de l'évaluation de la sûreté avec, le cas échéant, des preuves à l'appui. Cette sélection sert à garantir l'utilisation efficace de tous les efforts apportés à l'évaluation et à garantir que la conception de l'installation de stockage est développée de manière à protéger au mieux la santé et l'environnement.

3.25. Le développement des scénarios devrait faire en sorte que l'évaluation de la sûreté se concentre systématiquement sur les conditions et phénomènes importants liés aux performances du système de stockage. Le scénario devrait être développé de manière à couvrir de façon adéquate les aspects relatifs à la sûreté post-fermeture de l'installation de stockage en surface ou sub-surface. Les jugements d'experts, l'analyse par arbres d'événements et arbres de défaillances [8] et d'autres techniques peuvent être utilisés pour se concentrer sur les scénarios importants. Le processus, les jugements énoncés et les facteurs pris en compte devraient être archivés.

Identification des voies

3.26. Les voies d'exposition importantes des matières radioactives à partir d'une installation de stockage dans l'environnement dans des conditions non perturbées (normales) et perturbées (anormales) devraient être identifiées à partir d'un ensemble exhaustif de voies potentielles en effectuant une sélection. L'expérience montre que seules quelques voies sont susceptibles d'être importantes dans le cas d'un fonctionnement non perturbé d'une installation de stockage en sub-surface. Elles incluent les eaux souterraines, le sol, les végétaux et les animaux terrestres, les eaux de surface, les animaux aquatiques et les voies gazeuses. Dans le cas d'un fonctionnement perturbé, l'ajout principal à cette liste est la matière radioactive en suspension et l'exposition directe.

ANALYSE DES CONSÉQUENCES

Modélisation

3.27. Après identification de tous les scénarios applicables et de toutes les voies d'exposition pour les humains, l'étape suivante de l'évaluation de la sûreté est l'analyse des conséquences. Elle comporte le développement et l'application des modèles de transport et d'exposition afin d'évaluer l'impact potentiel des rejets de l'installation de stockage ou de la perturbation de cette installation sur les humains et sur l'environnement.

3.28. Il peut être très utile d'utiliser une méthode par systèmes modulaires pour modéliser le rejet et le transport potentiels de radioéléments via les voies sélectionnées de rejet jusqu'aux humains. Ceci garantira que les sous-modèles individuels pourront être inspectés pour aider à comprendre comment les doses estimées ont été déterminées. Le modèle sera habituellement composé des sous-modèles distincts suivants: infiltration et lixiviation, génération de gaz, transport dans le champ proche à l'intérieur et à proximité des unités de stockage, transport par gaz ou par les eaux souterraines, transport par les eaux de surface, transport atmosphérique, absorption par les végétaux et les animaux, et dose aux êtres humains. Une approche modulaire offre également une certaine souplesse et permet de concentrer les efforts sur les parties du système qui nécessitent une modélisation sophistiquée pour garantir que les résultats sont techniquement acceptables. Les avantages de cette approche peuvent être significatifs lorsque des modèles sophistiqués sont utilisés pour avoir une confiance accrue dans le fonctionnement satisfaisant du site de stockage et de l'installation.

3.29. Le terme source utilisé dans les modèles devrait être représentatif des rejets potentiels de radioéléments à partir de diverses formes de déchets pour le domaine identifié de conditions environnementales, et la dégradation des barrières de confinement, telles que les systèmes de revêtement et les structures en béton, devrait être prise en compte. Les modèles utilisés au début de la conception seront vraisemblablement simples, mais au fur et à mesure que la compréhension du système se développera il sera peut-être nécessaire d'utiliser des modèles plus détaillés pour garantir que le système est convenablement représenté. Toutefois, les modèles devraient être suffisamment simples pour être compatibles et en rapport avec les données disponibles; sinon, le résultat peut être entaché d'une incertitude encore plus grande au lieu d'être d'une exactitude accrue. Le jugement d'expert devrait être utilisé à ce moment-là pour garantir un bon compromis entre l'utilisation de modèles simples avec des données existantes et celle de modèles plus détaillés pouvant nécessiter des données difficiles à obtenir. Ceci n'empêche pas l'utilisation de modèles plus complexes au sein du système pour améliorer la compréhension des phénomènes concernés. De tels modèles sophistiqués pourraient être, par exemple, l'utilisation de la modélisation informatique par éléments finis des eaux souterraines pour évaluer les conditions hydrologiques aux limites et la variabilité temporelle des niveaux d'eau si les caractéristiques physiques ou le contrôle radiologique des eaux souterraines laissent à penser qu'il est nécessaire de comprendre les modifications du système à un niveau plus sophistiqué.

3.30. Un conservatisme raisonnable pouvant résister à un examen scientifique minutieux devrait être instauré dès le début pour la modélisation de l'évaluation de la sûreté. Une méthode de modélisation simple est susceptible d'être plus efficace, facilement compréhensible et justifiée. Les hypothèses devraient être formulées sur la base des données disponibles et de la connaissance du système ou de systèmes similaires et sélectionnées de manière à ne pas être susceptibles de sous-estimer le rejet et le transport des radioéléments ou, si cela est exigé, l'exposition d'une personne ayant fait une intrusion involontaire. Étant donné que l'acceptation des résultats peut être l'aspect le plus difficile d'une évaluation, toute approche visant à faciliter cette acceptation sera un avantage à long terme. Une approche qui fait un compromis entre simplicité, conservatisme et réalisme est vraisemblablement le meilleur point de départ des évaluations.

3.31. Le modèle choisi devrait être cohérent avec l'objectif de l'évaluation, facile à utiliser (en tenant compte de la complexité du système) et celui pour lequel les données peuvent être obtenues. Le modèle devrait être approprié à l'application, l'exactitude des algorithmes devrait être démontrable,

les hypothèses devraient être raisonnables et les données d'entrée devraient être représentatives.

3.32. La méthode de modélisation sélectionnée ainsi que les points pris en compte lors de son développement devraient être entièrement et clairement documentés. La documentation devrait fournir un enregistrement identifiable de toutes les hypothèses faites et de toutes les décisions prises lors du développement et de l'application de la méthode de modélisation. Elle devrait inclure les raisons de la mise à l'écart des autres modèles envisagés lors du processus de développement de la méthode de modélisation.

Incertitude

Généralités

3.33. L'incertitude est inhérente à toute évaluation de la sûreté. Les analyses de sensibilité et d'incertitude ont comme objectif important d'approfondir la compréhension et de réduire, partout où cela est possible, l'incertitude de certains des résultats de l'évaluation de la sûreté en dirigeant l'attention vers une meilleure définition des paramètres qui ont le plus d'incidence sur les résultats et leur incertitude. Les analyses de sensibilité et d'incertitude sont étroitement liées. Les analyses de sensibilité devraient être utilisées pour identifier les paramètres, les composants du système ou les processus qui ont un effet important sur les performances prévues du système de stockage. L'identification des composantes sensibles du modèle conceptuel et des scénarios importants est habituellement effectuée par application d'une variation systématique des paramètres. Chaque scénario peut nécessiter sa propre distribution de paramètres. Souvent, des valeurs limites sont utilisées pour étudier la sensibilité du système aux incertitudes. Des techniques statistiques peuvent également être employées pour explorer l'intégralité du domaine de variation prévue du paramètre [8, 9].

3.34. Globalement, deux sources principales d'incertitude devraient être prises en compte pour l'évaluation de la sûreté du stockage en surface ou sub-surface. L'une est le degré de représentation du système réel par le modèle. Cette incertitude est associée aux entrées du modèle, inhérentes à la description du système de stockage, aux caractéristiques du site, aux barrières de confinement de l'installation de stockage et à leur interaction avec l'environnement, et à la modélisation elle-même. L'autre source d'incertitude est liée à l'imprévisibilité des futures actions humaines et de l'évolution de l'installation et de son environnement à long terme.

3.35. La première source d'incertitude devrait être réduite en améliorant la qualité de la caractérisation du site et des données des déchets, les détails de la conception de l'installation, le modèle conceptuel et la sélection du scénario. L'objectif devrait être d'estimer et de réduire cette incertitude à un niveau considéré comme acceptable ou dont on peut montrer qu'il est peu important dans le cadre des performances de l'installation de stockage en surface ou sub-surface. La seconde source d'incertitude devrait être étudiée de telle manière que ses effets probables dans l'avenir puissent être observés. Les résultats d'une telle étude peuvent fournir une raisonnable assurance de la sûreté du système de stockage même si les résultats du modèle peuvent être incertains. Ainsi, l'importance principale des analyses de sensibilité et d'incertitude pour les décisions réglementaires est leur utilisation comme outil d'évaluation de la conformité aux exigences de sûreté en face d'une incertitude. Il va sans dire que, si la conformité aux normes de sûreté peut être prouvée par d'autres moyens, par exemple, en utilisant un modèle dont on peut démontrer le conservatisme, l'analyse d'incertitude peut ne pas être obligatoire.

3.36. Une source majeure d'incertitude dans le développement des scénarios émane de la possibilité d'omettre un scénario important. Un contrôle par des paires des scénarios choisis peut être utile et devrait être utilisé pour réduire une telle incertitude.

3.37. De la même manière, l'incertitude relative aux modèles conceptuels et numériques du site devrait être évaluée à l'aide d'un contrôle par des paires. La tendance générale est d'utiliser des modèles simples pour faciliter l'explication et pour l'efficacité informatique. L'incertitude associée à la simplification existante lors de l'élaboration des modèles conceptuels et numériques peut souvent être déterminée par une collecte de données et des études de modélisation supplémentaires. De nouveau, l'approche modulaire et l'examen minutieux des résultats informatiques intermédiaires peuvent conduire à une compréhension plus détaillée du système. Ceci à son tour peut conduire à une réduction globale de l'incertitude du modèle. Toutefois, un modèle hyper-complexe requiert une plus grande quantité de données, et ces données peuvent être incertaines et conduire à une plus grande incertitude pour les résultats ou peuvent être impossibles à obtenir.

3.38. L'incertitude inhérente provient de la tentative de prévision des événements futurs. Certaines de ces incertitudes peuvent être écartées après un examen minutieux des scénarios extrêmes ou à partir des résultats d'évaluations probabilistes, mais seulement si elles ont peu d'effet sur les performances du système de stockage. Les autres incertitudes, particulièrement celles associées

aux actions humaines dictées par les futures conditions socio-économiques ou des modifications majeures des conditions climatiques, peuvent avoir un effet important sur l'exposition des humains dans l'avenir et ne sont pas à ce jour soumises à des projections quantifiées. Bien que dans de telles circonstances seules des déductions qualitatives puissent être faites, il est quand même possible de lister les multiples facteurs garantissant la sûreté et, pour chaque facteur, de faire des commentaires sur l'augmentation de l'incertitude avec le temps et de savoir s'il continuerait à être efficace. L'évaluation de la sûreté est basée sur un modèle conceptuel dont le premier objectif est de fournir un cadre de travail permettant à l'analyse de se poursuivre. Lorsque des modèles mathématiques satisfaisants peuvent être calculés et que les données existent, l'évaluation peut être quantitative. Si ce n'est pas le cas, une évaluation qualitative devrait alors être effectuée. Ceci n'invalide pas le processus d'évaluation mais le rend plus dépendant du jugement qualitatif des experts, justifié lorsque cela est possible par le calcul. Au sein de ce cadre, toutefois, la base des jugements devrait être soigneusement documentée en vue de l'examen qui fait partie intégrante de l'évaluation de la sûreté. Il faudrait également faire attention à la fiabilité des informations disponibles reflétée dans le niveau de détail des calculs fournis dans l'évaluation et dans l'interprétation des résultats qui devraient, de ce fait, changer en fonction de la période du futur envisagée (voir par. 2.9 et 3.45).

Analyse de sensibilité

3.39. Le système devrait être analysé pour déterminer de quelle manière et dans quelle mesure le comportement prévu de l'installation de stockage en surface ou sub-surface dépend du modèle conceptuel utilisé, des scénarios applicables au modèle et de la variation des paramètres d'entrée du modèle utilisés pour décrire le système. Si les résultats sont sensibles aux conditions initiales et limites, il faudra alors éventuellement générer un ensemble de données plus vaste, y compris des mesures révisées provenant du site. Le processus devrait examiner la sensibilité du modèle aux différents scénarios et aux voies d'exposition raisonnablement prévisibles. S'il s'avère que l'évaluation est sensible à ces paramètres, il faudrait envisager leur évaluation approfondie.

3.40. La variation d'un seul paramètre ou la variation de combinaisons de quelques paramètres devrait être envisagée comme point de départ de l'analyse de sensibilité pour l'évaluation de la sûreté des installations de stockage en surface ou sub-surface. Il faudrait prendre en considération la variation extrême mais raisonnable de certains paramètres car cela peut changer l'importance relative des différentes voies et rendre le modèle inapplicable.

3.41. Différentes méthodes pour faire varier les valeurs des paramètres peuvent être utilisées pour cette tâche, mais l'analyse devrait être structurée avec soin pour garantir que les combinaisons choisies par le programme informatique ne sont pas impossibles ou matériellement irréalistes. De plus, les résultats de l'étude devraient être structurés de manière à préserver les informations nécessaires à la détermination des combinaisons sensibles et à l'identification des paramètres sensibles.

3.42. L'analyse de sensibilité devrait guider le processus itératif utilisé pour l'amélioration de la formulation du modèle, du développement des scénarios et de la collecte des données supplémentaires. Les résultats de l'analyse de sensibilité devraient être utilisés pour indiquer les domaines où les caractéristiques techniques devraient être réellement améliorées afin d'apporter de meilleures performances.

Analyse d'incertitude

3.43. L'incertitude d'un paramètre est le type d'incertitude qui devrait être pris en compte par l'analyse d'incertitude. Ceci devrait être effectué en se concentrant sur les paramètres dont l'analyse de sensibilité a montré l'importance pour la définition du résultat de l'évaluation de la sûreté. Les méthodes habituellement utilisées sont liées aux techniques d'analyse de sensibilité de variation d'une variable unique ou de plusieurs variables avec, comme objectif, le développement de limites pour les performances prévues de l'installation de stockage en surface ou sub-surface. De simples analyses des conditions limites seraient susceptibles de fournir des informations tout à fait adéquates sur l'étendue des performances mais il faudrait noter que, vu l'extrême complexité des systèmes, les valeurs extrêmes déterminées paramètre par paramètre peuvent ne pas toujours donner le comportement aux limites du système. La méthode de Monte Carlo peut également fournir les distributions des résultats attendus sur la base d'une analyse statistique des estimations de la variation des paramètres d'entrée. Lors de la mise au point des distributions d'entrée pour la méthode de Monte Carlo et de la corrélation entre les paramètres, la consultation du jugement des experts sera nécessaire, jugement qui devrait être obtenu de manière formelle par écrit, le cas échéant.

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

Généralités

3.44. La présentation des résultats de l'évaluation de la sûreté sous forme de recueil de toutes les informations pertinentes (voir par. 3.46) est importante pour la compréhension et l'acceptation. Ces résultats seront utilisés à des fins diverses. Dans le processus de prise de décision ils servent principalement à la comparaison avec les normes réglementaires applicables à l'installation de stockage en surface ou sub-surface. La nécessité de parvenir à un consensus selon lequel l'installation de stockage est une option de stockage sûre des déchets concernés pour une longue durée donne une dimension importante à l'évaluation de la sûreté et à la présentation de ses résultats.

3.45. Étant donné que les résultats de l'évaluation fournissent normalement la base de l'établissement des exigences relatives à l'acceptation des déchets et à la conception de l'installation de stockage, il est important de fournir des informations sur les performances des composants du système, en particulier aux concepteurs du système et in fine à l'organisme de réglementation, afin de mettre en évidence les niveaux de protection apportés par les différentes parties du système de dépôt. Les résultats des modèles utilisés pour l'évaluation de la sûreté sont en fait des indicateurs de ce qui pourrait survenir dans certaines conditions qui pourraient se présenter dans l'avenir, et non pas des prédictions à proprement parler. Faire comprendre cette démarche et la complexité d'un système de stockage en surface ou sub-surface composé de structures naturelles et de structures ouvragées, comme reflété par les modèles de l'installation de stockage en surface ou sub-surface, aux différentes parties concernées est très important; de ce fait, la présentation des résultats devrait être soigneusement préparée.

Comparaison avec les normes réglementaires

3.46. L'utilisation la plus courante des résultats de l'évaluation de la sûreté est de mettre en évidence la conformité aux obligations réglementaires (voir section 2). Dans ce but, pour justifier les résultats de l'évaluation de la sûreté, les éléments suivants sont exigés:

- une description claire du site, la conception sélectionnée et l'inventaire des déchets à stocker;
- une analyse approfondie du modèle conceptuel et des bases physiques du modèle;

- une analyse des autres modèles envisagés et les raisons de leur mise à l'écart;
- la base ayant servi à la sélection ou au développement des scénarios et des voies de rejet;
- les documents relatifs aux hypothèses et aux justifications des simplifications utilisées;
- un résumé des entrées pour les modèles et les programmes;
- les données réelles utilisées, leur source et justification; et
- l'interprétation des résultats.

La documentation des résultats de l'évaluation de la sûreté devrait inclure les informations relatives à l'incertitude et les conclusions de toute analyse de sensibilité et d'incertitude.

Performances des composants du système

3.47. Les résultats de l'évaluation de la sûreté devraient être présentés de manière à démontrer les performances des composants individuels du système. C'est une tâche utile et qui s'effectue facilement si une approche modulaire de la modélisation est prise. Présenter le comportement attendu de chaque composant et l'amélioration itérative de la conception du composant ou de la connaissance du comportement attendu du composant, pour garantir son fonctionnement efficace, accroît le niveau de confiance vis-à-vis des performances de la totalité du système.

Impacts radiologiques futurs

3.48. Les résultats de l'évaluation de la sûreté devraient être présentés de manière à permettre l'étude des variations avec le temps des impacts prévus. Cette approche peut être particulièrement utile étant donné que les projections ne sont que des indications des performances de l'installation de stockage en surface ou sub-surface, et montrer l'évolution avec le temps des impacts générés par le stockage peut contribuer à la crédibilité des résultats de l'évaluation de la sûreté. En tout cas, il peut être utile de montrer comment l'effet de la décroissance radioactive conduit généralement à une diminution de l'impact avec le temps. Il faudrait également adopter une approche similaire lorsque les impacts radiologiques à long terme sont comparés aux niveaux d'irradiation naturelle, par exemple, pour montrer de façon relative l'effet du stockage de radioéléments à longue vie dans une installation de stockage en surface ou sub-surface.

Niveau de présentation

3.49. Pour représenter la complexité du système de stockage en surface ou sub-surface, des modèles complexes sont parfois nécessaires. Présenter et expliquer ces modèles peut être difficile, en particulier lorsqu'on s'adresse au grand public. De plus, l'octroi de l'autorisation de mise en service d'installations de stockage en surface ou sub-surface peut constituer la base d'une action en justice. Étant donné que débattre des résultats d'une modélisation complexe dans un cadre juridique peut être très difficile, il faudrait s'efforcer de compléter l'approche de modélisation sophistiquée par un modèle moins complexe à des fins explicatives.

3.50. Bien que la simplification puisse entraîner une diminution du niveau de détail, la démonstration de l'équivalence des deux méthodes (simple et complexe) peut être possible si on peut montrer que la simplification a en fait concentré l'évaluation de la sûreté sur les facteurs essentiels liés à la sûreté du système. Ceci est souvent appelé une modélisation robuste du système. On devrait prouver que ces évaluations robustes permettent de fournir de bonnes estimations du comportement du système en utilisant des modèles simples et un minimum de données. On devrait également prouver qu'elles englobent les limites du comportement du système. Une simplification satisfaisante nécessite généralement une excellente compréhension du système de stockage en surface ou sub-surface et de ses performances. À condition que cette compréhension puisse être prouvée, les modèles robustes simples et les méthodes d'évaluation de la sûreté utilisant des données qualitatives sont plus faciles à expliquer au grand public que les modèles complexes nécessitant une grande quantité de données.

4. ÉTABLISSEMENT DE LA CONFIANCE

INTRODUCTION

4.1. Les évaluations de la sûreté fournissent une base pour des décisions rationnelles et techniquement saines lors du processus de création des installations de stockage de déchets. Comme indiqué dans les sections précédentes, les évaluations de la sûreté jouent un rôle dans différentes phases du processus. Les évaluations préliminaires peuvent être utilisées pour la sélection du site. Les évaluations de la sûreté devraient fournir des données d'entrée pour la

conception d'installations de stockage et permettre la définition des exigences relatives à l'acceptation des déchets pour un stockage spécifique. Enfin, l'octroi d'une autorisation pour l'installation de stockage devrait, au moins en partie, être basé sur les résultats d'une évaluation de la sûreté.

4.2. Les scientifiques, les responsables de la réglementation, les décisionnaires et les autres parties concernées devraient avoir confiance dans les informations, les connaissances et les résultats fournis par les évaluations de la sûreté. Cette section traite de ce qui peut être fait pour garantir que les résultats des évaluations de la sûreté inspirent un grand degré de confiance. Les activités contribuant à l'établissement de la confiance incluent: (1) la vérification, la comparaison avec les observations et, si possible, la validation des modèles; (2) une investigation sur les analogues naturels correspondants; (3) l'assurance de la qualité; et (4) un contrôle par les pairs.

VÉRIFICATION, COMPARAISON AVEC LES OBSERVATIONS ET VALIDATION DES MODÈLES

4.3. Les évaluations de la sûreté sont basées sur des modèles de l'installation de stockage et de son environnement naturel. Ces modèles sont utilisés pour simuler l'évolution du système et pour fournir une indication des conséquences d'un certain nombre de scénarios. L'effort de modélisation comporte le développement de modèles conceptuels et de modèles mathématiques et des programmes informatiques ou autres méthodes de calcul correspondants. La confiance accordée aux résultats de la modélisation dépend de deux questions. Premièrement, la méthode de calcul résout-elle exactement les équations mathématiques constituant le modèle? Le processus de vérification sert à répondre à cette question. Deuxièmement, le modèle reproduit-il avec suffisamment de précision les résultats sur le terrain et/ou expérimentaux? La comparaison avec les observations et la validation avec différents ensembles de données servent à répondre à cette question.

Vérification

4.4. La vérification de la méthode de calcul est effectuée en résolvant des problèmes test conçus pour montrer que les équations présentes dans le modèle mathématique sont résolues de manière satisfaisante. Grâce à l'utilisation de problèmes test et du retour d'expérience provenant d'une utilisation diversifiée de la méthode, il est possible d'atteindre un niveau de confiance élevé dans l'exactitude des équations mathématiques et de leur programmation et

résolution. La comparaison des résultats de différentes méthodes résolvant le même problème et utilisant les mêmes paramètres d'entrée constitue également une approche efficace. De ce fait, la vérification des méthodes de calcul est faisable et devrait être utilisée pour instaurer la confiance dans les évaluations de la sûreté. Les comparaisons corrélatives internationales et les contrôles par les pairs (voir par. 4.9–4.11) sont des aides importantes pour obtenir l'acceptation par la population.

Comparaison avec les observations

4.5. La comparaison avec les observations vise à réduire l'incertitude pour les modèles conceptuels et numériques et les paramètres, et est effectué en comparant les prévisions du modèle ou du sous-modèle avec les observations sur le terrain et les mesures expérimentales. La comparaison avec les observations est, de ce fait, une procédure spécifique au site, pour laquelle un ensemble de données d'entrée spécifiques au site est utilisé pour comparer les prévisions et les observations sur ce site. En pratique, si un modèle peut être comparé avec les observations avec succès pour diverses conditions spécifiques au site, un niveau accru de confiance peut être accordé à l'aptitude du modèle à représenter ces aspects du comportement du système et donc à estimer leurs effets pour des situations dans lesquelles ils ne peuvent pas être mesurés. Cependant, une difficulté souvent rencontrée lors du processus de comparaison avec les observations est que différents modèles conceptuels et leurs ensembles de données d'entrée associés fournissent des résultats qui présentent le même degré d'adéquation aux données observées: ceci limite la réduction de l'incertitude qui peut être obtenue.

Validation

4.6. Autant que possible, les résultats de la modélisation devraient être validés, c'est-à-dire, correspondre aux données empiriques obtenues en situation réelle. Au contraire de la comparaison avec les observations, qui est un processus d'ajustement du modèle plus spécifique au site, la validation concerne davantage la production de résultats crédibles pour divers sites différents ou pour un large éventail de conditions. Bien que la validation des modèles de l'évolution à long terme d'un site spécifique ne soit pas possible pour les échelles de temps correspondantes, une validation limitée peut être possible grâce à l'utilisation des données provenant des études sur les analogues naturels ou les analogues climatologiques. Il peut également être utile de comparer les résultats de la modélisation aux observations concernant le comportement de certains composants du système de stockage, par exemple, les ensembles de

données obtenus avec des expériences in situ, ou aux mesures effectuées lors de la caractérisation du site et lors de la phase opérationnelle du stockage.

ANALOGUES NATURELS

4.7. Des analogues naturels ont été étudiés de telle manière que les résultats des observations dans la nature puissent être comparés au comportement des composants de l'installation de stockage ou aux processus censés se produire dans un système de stockage [12]. L'analogie entre les analogues naturels et un stockage de déchets n'est pas parfaite étant donné que dans la plupart des cas seuls les résultats finaux des processus naturels peuvent être observés et qu'il existe une incertitude importante en ce qui concerne les conditions initiales et leur évolution avec le temps.

4.8. Jusqu'ici, il s'est avéré difficile d'utiliser les études sur les analogues naturels de manière quantitative pour valider les modèles ou pour fournir des valeurs pour les paramètres utilisés dans ces modèles. Toutefois, certains processus applicables comme le vieillissement climatique des matériaux de conditionnement, la remise en suspension par le vent, le transport des radioéléments par les eaux souterraines ou le transfert des éléments du sol vers le biote peuvent être étudiés dans les analogues naturels appropriés avec un niveau de détail adéquat et avec un contrôle suffisant des conditions aux limites pour permettre certains tests du modèle. De ce fait, malgré certaines réserves, les analogues naturels devraient être utilisés pour instaurer la confiance en divers processus et matériaux utilisés pour le système de stockage. L'utilisation des informations tirées des études sur les analogues naturels pourrait être particulièrement nécessaire pour accroître la confiance que les décisionnaires et la population accordent à l'évaluation de la sûreté. Les informations de ce type devraient être utilisées pour convaincre de la sûreté du stockage en surface ou sub-surface.

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

4.9. L'assurance de la qualité est un ensemble planifié et systématique de procédures servant à documenter les diverses étapes d'un processus et à convaincre de la bonne qualité des résultats du processus. Les procédures d'assurance de la qualité et de contrôle qualité (AQ/CQ) ont été ou sont en train d'être incorporées dans de nombreux domaines de la gestion des déchets radioactifs [13]. La nécessité d'instaurer la confiance dans les résultats des évaluations de la sûreté exige qu'une procédure d'assurance de la qualité soit appliquée dès le début aux

divers éléments de l'évaluation, en particulier l'acquisition des données, les activités de conception, le développement des modèles et des méthodes de calcul. L'approche de l'assurance de la qualité devrait fournir un cadre dans lequel sont effectuées et enregistrées les activités relatives à l'évaluation de la sûreté, attestant de la conformité à la procédure. De cette manière, il peut être démontré que des sources d'information fiables et identifiables ont été utilisées. Il en résultera une confiance accrue dans les résultats de l'évaluation de la sûreté.

CONTRÔLE PAR LES PAIRS DES ÉVALUATIONS DE LA SÛRETÉ

4.10. Pour les activités scientifiques, la confiance accordée à la validité des résultats dépend dans une large mesure des résultats du processus de contrôle par les pairs. Les travaux scientifiques et les résultats concernant l'évaluation de la sûreté devraient être publiés dans des documents accessibles à tous, afin d'être mis à la disposition, en vue d'un examen minutieux, des autres experts travaillant dans le même domaine et de toute personne intéressée par le sujet.

4.11. Le processus de contrôle par les pairs des travaux constituant la base des évaluations de la sûreté devrait être différent du contrôle par les pairs typique des publications scientifiques et des résultats de programme. Les programmes nationaux de gestion des déchets radioactifs devraient comporter des dispositions pour l'examen technique des activités importantes. L'organisme de réglementation devrait développer des moyens indépendants pour l'examen des évaluations de la sûreté. Dans certains cas, l'exploitant de l'installation de stockage organise, ou les autorités compétentes organisent, des examens critiques effectués par des organismes indépendants. Ces examens peuvent en plus faire appel à l'expertise de spécialistes en sciences naturelles et en sciences sociales et peuvent contribuer efficacement à accroître le degré de confiance envers l'évaluation.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

4.12. Étant donné que l'évaluation de la sûreté des installations de stockage en surface ou sub-surface fait intervenir des événements futurs hypothétiques et leurs conséquences, on ne peut pas assurer que des projections spécifiques se réaliseront réellement. Le seul objectif réaliste est un degré raisonnable d'assurance de la sûreté, basé sur l'évaluation de tous les éléments appropriés, y compris les jugements professionnels et la modélisation mathématique, prouvant que l'installation de stockage fonctionnera dans des limites acceptables.

4.13. Il ne faut pas oublier que la mise en œuvre d'un programme de stockage en surface ou sub-surface dépend de la confiance que les scientifiques, les responsables de la réglementation et les décisionnaires accordent à sa sûreté, et dépend également de l'acceptation de la population. Pour obtenir la confiance de la population, le processus de développement d'un stockage de déchets devrait inclure un certain nombre de caractéristiques visant à fournir une ouverture, une participation de la population et des informations véritables et largement diffusées. Une évaluation de la sûreté bien conçue utilisant des techniques d'évaluation des performances robustes et simples appliquées à un modèle conceptuel suffisamment empirique peut aider à promouvoir la compréhension de la population et l'acceptation de l'installation de stockage en surface ou sub-surface.

RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Principes de gestion des déchets radioactifs, collection Sécurité n° 111-F, AIEA, Vienne (1996).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Near Surface Disposal of Radioactive Waste, Safety Standards Series No. WS-R-1, IAEA, Vienna.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Classification of Radioactive Waste, Safety Series No. 111-G-1.1, IAEA, Vienna (1994).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Siting of Near Surface Disposal Facilities, Safety Series No. 111-G-3.1, IAEA, Vienna (1994).
- [5] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste, Publication No. 77, Elsevier, Oxford (1997).
- [6] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINE DE LA SANTÉ, Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, collection Sécurité n° 115, AIEA, Vienne (1997).
- [7] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, Enfouissement des déchets radioactifs à faible profondeur — Niveaux de référence pour l'admission des radionucléides à vie longue, OCDE, Paris (1987).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Analysis Methodologies for Radioactive Waste Repositories in Shallow Ground, Safety Series No. 64, IAEA, Vienna (1984).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Performance Assessment for Underground Radioactive Waste Disposal Systems, Safety Series No. 68, IAEA, Vienna (1985).
- [10] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Systematic Approaches to Scenario Development, OECD, Paris (1992).
- [11] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, Examen des méthodes d'analyse de sûreté, OCDE, Paris (1991).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Natural Analogues in Performance Assessments for the Disposal of Long Lived Radioactive Wastes, Technical Reports Series No. 304, IAEA, Vienna (1989).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for Radioactive Waste Packages, Technical Reports Series No. 376, IAEA, Vienna (1995).

PERSONNES AYANT COLLABORÉ À LA RÉDACTION ET À L'EXAMEN

Agalèdes, P.	Département d'évaluation de sûreté, Institut de protection et de sûreté nucléaire (France)
Allan, C.	Énergie atomique du Canada limitée (Canada)
Ando, Y.	Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (Japon)
Arens, G.	Office fédéral de radioprotection (Allemagne)
Baekelandt, L.	Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies (Belgique)
Barescut, J.-C.	Institut de protection et de sûreté nucléaire (France)
Berczi, K.	ETV-ERÖTERV Power Engineering & Contracting Co. (Hongrie)
Besnus, F.	Département d'évaluation de sûreté, Institut de protection et de sûreté nucléaire (France)
Boissonneau, J.P.	Département d'évaluation de sûreté, Institut de protection et de sûreté nucléaire (France)
Bosser, R.	Direction de la sûreté des installations nucléaires (France)
Bragg, K.	Énergie atomique du Canada limitée (Canada)
Carboneras, P.	Empresa Nacional de Residuos Radioactivos, S.A. (Espagne)
Carlsson, J.	Nuclear Fuel Cycle and Waste Management Company (Suède)
Cooper, J.	Conseil national de radioprotection (Royaume-Uni)
Dlouhy, Z.	Services de consultant en gestion des déchets radioactifs et protection de l'environnement (République tchèque)
Duncan, A.	Agence de l'environnement (Royaume-Uni)
Escalier des Orres, P.	Département d'évaluation de sûreté, Institut de protection et de sûreté nucléaire (France)

La présente publication a été remplacée par le N° SSG-23.

Gera, F.	Département de l'environnement et de géo-ingénierie, ISMES S.P.A. (Italie)
Grimwood, P.	British Nuclear Fuels plc (Royaume-Uni)
Gruhlke, J.	Agence de protection de l'environnement (États-Unis d'Amérique)
Kawakami, Y.	Institut de recherche sur l'énergie atomique (Japon)
Kocher, D.	Oak Ridge National Laboratory (États-Unis d'Amérique)
Lopez, C.R.	Consejo de Seguridad Nuclear (Espagne)
Maloney, C.	Commission de contrôle de l'énergie atomique (Canada)
Mobbs, S.	Conseil national de radioprotection (Royaume-Uni)
Narayan, P.	Centre de recherche atomique Bhabha (Inde)
Norrby, S.	Service d'inspection des installations nucléaires (Suède)
Pescatore, C.	Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire
Pinner, A.	British Nuclear Fuels Limited plc (Royaume-Uni)
Raimbault, P.	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (France)
Regnier, E.	Département de l'énergie (États-Unis d'Amérique)
Ruokola, E.	Centre finlandais de sûreté nucléaire et radiologique (Finlande)
Schaller, K.H.	Commission européenne
Snihs, J.-O.	Institut suédois de radioprotection (Suède)
Starmer, J.	ERM Program Management Company (États-Unis d'Amérique)
Stearn, S.	Service national de contrôle de la pollution (Royaume-Uni)
Suarez Mahou, E.	Consejo de Seguridad Nuclear (Espagne)

La présente publication a été remplacée par le N° SSG-23.

Sugier, A.	Institut de protection et de sûreté nucléaire (France)
Van Dorp, F.	Société coopérative nationale pour l'entreposage des déchets radioactifs (Suisse)
Vovk, I.F.	Agence internationale de l'énergie atomique
Yamamoto, H.	Institut de recherche sur l'énergie atomique (Japon)
Zurkinden, A.	Division principale de la sécurité des installations nucléaires (Suisse)

ORGANES CONSULTATIFS POUR L'APPROBATION DES NORMES DE SÛRETÉ

Comité consultatif pour les normes de sûreté relatives aux déchets

Afrique du Sud: Metcalf, P. (Président); *Allemagne*: von Dobschütz, P.; *Argentine*: Siraky, G.; *Canada*: Ferch, R.; *Chine*: Luo, S.; *Espagne*: Gil López, E.; *États-Unis d'Amérique*: Huizenga, D.; *Fédération de Russie*: Poliakov, A.; *France*: Brigaud, O.; *Japon*: Kuwabara, Y.; *Mexique*: Ortiz Magana, R.; *République de Corée*: Park, S.; *Royaume-Uni*: Brown, S.; *Suède*: Norrby, S.; *Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire*: Riotte, H.; *AIEA*: Delattre, D. (Coordonnateur).

Commission consultative pour les normes de sûreté

Allemagne: Hennenhöfer, G., Wendling, R.D.; *Argentine*: Beninson, D.; *Australie*: Lokan, K., Burns, P.; *Canada*: Bishop, A. (Président), Duncan, R.M.; *Chine*: Huang, Q., Zhao, C.; *Espagne*: Alonso, A., Trueba, P.; *États-Unis d'Amérique*: Travers, W.D., Callan, L.J., Taylor, J.M.; *France*: Lacoste, A.-C., Asty, M.; *Japon*: Sumita, K., Sato, K.; *République de Corée*: Lim, Y.K.; *Royaume-Uni*: Williams, L.G., Harbison, S.A.; *Slovaquie*: Lipár, M., Misák, J.; *Suède*: Holm, L.-E.; *Suisse*: Prêtre, S.; *Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire*: Frescura, G.; *AIEA*: Karbassioun, A. (Coordonnateur); *Commission internationale de protection radiologique*: Valentin, J.