

Gestion des déchets radioactifs

ISBN 92-64-02076-4

DOSSIER DE SÛRETÉ POST-FERMETURE D'UN DÉPÔT EN FORMATION GÉOLOGIQUE

NATURE ET FINALITÉ

© OCDE 2004
NEA n° 3680

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

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

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1^{er} février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 28 pays membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

© OCDE 2004

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France. Tél. (33-1) 44 07 47 70. Fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : <http://www.copyright.com/>. Toute autre demande d'autorisation ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

AVANT-PROPOS

Le dépôt des déchets radioactifs à vie longue dans des structures ouvragées, implantées à grande profondeur dans des formations géologiques appropriées, fait l'objet d'études approfondies dans le monde entier dans le but de protéger l'homme et l'environnement, aujourd'hui et dans le futur. Un dépôt est réputé sûr, d'un point de vue technique, s'il respecte les normes de sûreté applicables, telles qu'elles sont préconisées à l'échelon international ou fixées par l'autorité nationale réglementaire compétente. On appelle évaluation de la sûreté en phase post-fermeture, le processus consistant à analyser la performance d'un dépôt et à montrer, avec un degré de confiance suffisant, qu'il demeurera sûr pendant une période prolongée dépassant la durée pendant laquelle une surveillance active de l'installation peut être garantie. Ces dernières années, le champ de l'évaluation de la sûreté s'est élargi et rassemble désormais un large éventail d'éléments de preuves et d'arguments qui complètent et étayent la fiabilité des résultats des analyses quantitatives. La formulation plus générale « dossier de sûreté post-fermeture », ou simplement « dossier de sûreté »¹ est utilisée pour évoquer ces études. Il est également devenu évident que la mise en œuvre d'un dépôt se déroulera en plusieurs étapes ponctuées de décisions interdépendantes quant à l'opportunité et aux modalités du passage à l'étape suivante. Ces décisions reposent sur une présentation claire et référencée d'arguments techniques qui contribueront à donner confiance dans la faisabilité et la sûreté d'un projet donné. La valeur explicative et la précision des informations techniques à l'appui des décisions iront en croissant à chaque étape. Le dossier de sûreté joue un rôle crucial dans la décision de passer à la phase suivante de développement d'un dépôt. Il reflète l'état d'avancement et les résultats des travaux de recherche et de développement (R&D) entrepris à un moment donné et appuie les décisions concernant les actions futures en matière de R&D.

Le présent rapport définit et examine la finalité ainsi que la teneur générale des dossiers de sûreté relatifs aux dépôts dans des formations géologiques destinés à recevoir des déchets radioactifs à vie longue. Il s'agit de

1 . Dans le présent rapport, on entend par « dossier de sûreté » le dossier de sûreté en phase post-fermeture.

fournir un point de référence aux personnes engagées dans l'établissement des dossiers de sûreté, à celles qui participent, ou s'intéressent, à la prise de décision dans la gestion des déchets radioactifs. En outre, il explique la spécificité de ces dossiers aux experts de la sûreté dans d'autres domaines et aux personnes concernées ayant des connaissances dans des disciplines scientifiques et de l'ingénierie. Il s'appuie sur l'expérience d'experts dans la gestion des déchets radioactifs et sur les études de la sûreté du stockage en milieu géologique qui ont été rassemblées par le Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC) de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) et le Groupe sur l'intégration du dossier de sûreté (IGSC), du RWMC. L'IGSC réunit des organismes, appartenant à des pays membres de l'AEN, qui sont chargés de l'exécution, de la réglementation du stockage des déchets radioactifs et des recherches et développements qui s'y rapportent, ainsi que des représentants d'organisations internationales telles que l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et la Commission européenne (CE).

Le rapport s'inspire des travaux réalisés par le Groupe d'experts sur l'évaluation intégrée des performances (IPAG) qui, durant trois phases d'activité échelonnées sur six ans, dans les années 1990 a étudié les différentes pratiques en matière d'évaluation de la performance et de la sûreté, l'examen réglementaire des évaluations et l'instauration et la communication de la confiance dans les évaluations de la sûreté. Il s'appuie également sur un rapport technique intitulé « Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories », établi par le RWMC, sur l'expérience acquise au sein du IGSC et sur les résultats récents d'examens internationaux organisés ou co-organisés par l'AEN, d'études de sûreté relatives à des programmes nationaux de dépôt géologique.

Remerciements

Ce rapport a été préparé par le group *ad hoc* de l'AEN relatif au dossier de sûreté dont les membres sont :

J. Alonso, ENRESA, Espagne
P. de Preter, ONDRAF/NIRAS, Belgique
A. Hooper, UK-Nirex Limited, Royaume-Uni
H. Umeki, NUMO, Japon
A. Van Luik (Président), US-DOE-YM, États-Unis
P. Zuidema, Nagra, Suisse
S. Voinis, IGSC Secrétariat technique, AEN
C. Pescatore, RWMC Secrétariat technique, AEN
T. Sumerling et P. Smith, SAM Limited, Royaume Uni, consultants
auprès de l'AEN.

La publication de ce rapport a été approuvée par le Comité de gestion de déchets radioactifs (RWMC) de l'AEN. Ce rapport a été largement commenté et revu par les membres du Groupe d'intégration d'un dossier de sûreté (IGSC).

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	3
EXPOSÉ DE SYNTHÈSE.....	9
1. INTRODUCTION.....	15
2. LE DOSSIER DE SÛRETÉ ET CONSIDÉRATIONS CONCERNANT SA PRÉSENTATION.....	19
2.1 Le rôle du dossier de sûreté post-fermeture dans la planification et la mise en œuvre d'un dépôt	19
2.2 Objectifs de sûreté d'un dépôt.....	21
2.3 Éléments à l'appui du dossier de sûreté	22
2.4 Considérations générales sur la présentation d'un dossier de sûreté	25
3. STRATÉGIE DE SÛRETÉ.....	31
3.1 Définition et éléments	31
3.2 Principes directeurs	32
3.3 Robustesse et concept de barrières multiples	34
3.4 Caractérisation et gestion des incertitudes	36
4. BASE DE L'ÉVALUATION.....	41
4.1 Éléments de la base de l'évaluation	41
4.2 Présentation de la base de l'évaluation et éléments à l'appui de sa qualité et de sa fiabilité	41
5. ÉLÉMENTS DE PREUVE, ANALYSES ET ARGUMENTS ET LEUR SYNTHÈSE DANS UN DOSSIER DE SÛRETÉ	49
5.1 Types d'éléments de preuve, d'arguments et d'analyses	49
5.2 Priorité accordée à différentes lignes de raisonnement, arguments et analyses lors de la présentation d'un dossier de sûreté	53
5.3 Synthèse des éléments de preuves, analyses et arguments et déclaration de confiance.....	54
6. REMARQUES CONCLUSIVES.....	57
RÉFÉRENCES.....	63

EXPOSÉ DE SYNTHÈSE

Les déchets radioactifs à vie longue, tels que le combustible nucléaire usé et les déchets provenant du retraitement du combustible, doivent être confinés et isolés de l'homme et de l'environnement pendant de nombreux millénaires. À l'heure actuelle, le stockage dans des formations géologiques ouvragées est l'option privilégiée pour la gestion des déchets radioactifs, car elle apporte sécurité et sûreté à long terme sans nécessiter de surveillance active, de maintenance et de contrôles institutionnels. L'isolation des déchets repose sur le confinement des radionucléides, sur le retard des relâchements potentiels et sur l'atténuation de ces relâchements à des niveaux qui sont en accord avec les niveaux de sûreté acceptables.

Nature et finalité du dossier de sûreté

Des évaluations de la sûreté sont réalisées périodiquement tout au long de la planification, la construction et l'exploitation d'un dépôt avant sa fermeture, et elles sont utilisées pour établir et compléter progressivement le dossier de sûreté. Un dossier de sûreté est une synthèse d'éléments de preuve, d'analyses et d'arguments qui permettent de quantifier et d'étayer l'affirmation qu'un dépôt demeurera sûr après sa fermeture et au-delà de la période pendant laquelle on peut tabler sur une surveillance active de l'installation. Le dossier de sûreté, qui s'étoffe et gagne en rigueur au fur et à mesure de l'avancée du programme, joue un rôle capital dans la prise de décision aux différentes étapes du processus de développement et de mise en œuvre du dépôt. Une fonction importante du dossier est de fournir une plateforme pour permettre aux différentes parties prenantes d'évaluer leur niveau de confiance dans un projet, d'identifier les questions d'un intérêt suffisant et de demander des études plus approfondies.

Un dossier de sûreté détaillé, présenté sous la forme d'un ensemble structuré de documents est requis à chaque étape décisionnelle importante dans la planification et la mise en œuvre du dépôt, notamment au moment de prendre des décisions qui nécessitent l'octroi d'autorisations. Une autorisation d'exploiter, de fermer, et dans la plupart des cas de démarrer la construction d'une installation, ne sera octroyée que si l'exploitant a constitué un dossier de sûreté dont l'autorité réglementaire a jugé qu'il attestait le respect des règles et

prescriptions applicables. Des évaluations techniques et des évaluations de la sûreté moins détaillées peuvent suffire à l'appui de certains niveaux de développement et de prise de décisions en interne par l'exploitant. L'obligation d'établir un dossier de sûreté et de le soumettre à un examen scientifique et technique, à un examen réglementaire ou à des examens non techniques de plus vaste portée est cruciale car elle garantit que la sûreté après la fermeture est prise en considération explicitement et en toute transparence à chaque étape du projet.

Établir un dossier de sûreté pour la période postérieure à la fermeture est une tâche délicate qui se distingue par certains aspects fondamentaux de celle consistant à démontrer la sûreté avant la fermeture, ainsi que le sûreté d'autres types d'installations nucléaires. Ces différences tiennent notamment aux possibilités limitées de surveillance et d'actions correctrices après la fermeture et aux incertitudes liées aux longues périodes de temps auxquelles s'applique l'évaluation de la sûreté en phase post-fermeture.

Éléments à l'appui du dossier de sûreté

Une formulation claire de la finalité et du contexte fait partie intégrante du dossier de sûreté. Étant entendu que leur présentation et leur teneur doivent être adaptées au contexte décisionnel propre à chaque dossier de sûreté, les éléments servant à étayer le dossier de sûreté peuvent être les suivants:

(i) La stratégie de sûreté

La stratégie de sûreté qui est la démarche intégrée retenue pour assurer une évacuation sûre regroupe une stratégie de gestion globale, une stratégie d'implantation et de conception et une stratégie d'évaluation. Tous les programmes nationaux ont pour objectif d'établir des stratégies de gestion compatibles avec des principes et des méthodes de gestion et d'ingénierie rationnels. Cela suppose de prévoir une marge de manœuvre suffisante à l'intérieur d'un processus progressif de développement et de mise en œuvre pour pouvoir faire face à des surprises dans les caractéristiques des sites ou à des difficultés techniques et des incertitudes inattendues, ainsi que pour pouvoir exploiter les progrès réalisés dans la compréhension des phénomènes et l'ingénierie. Les stratégies de choix de site et de conception sont généralement fondées sur des principes qui privilégient la robustesse et réduisent au minimum les incertitudes, notamment par le recours au concept de barrières multiples. La stratégie d'évaluation doit assurer que les évaluations recensent, décrivent et analysent les incertitudes pertinentes du point de vue de la sûreté, et en examinent leurs effets.

(ii) La base de l'évaluation

La base de l'évaluation est la collecte d'informations et d'outils d'analyse à l'appui de l'évaluation de la sûreté. Elle comprend une description globale du système de dépôt (à savoir celui retenu et son environnement géologique associé), les données et les interprétations scientifiques et techniques pertinentes pour l'évaluation de la sûreté du système, ainsi que les méthodes d'évaluation, les modèles, les codes informatiques et les bases de données nécessaires à l'analyse de la performance du système. La qualité et la fiabilité d'une évaluation de la sûreté dépendent de la qualité et de la fiabilité de la base de l'évaluation. Toute présentation détaillée d'un dossier de sûreté, devrait étayer la qualité et la fiabilité de ces différents éléments en intégrant des éléments de preuve et des arguments dans l'examen de la base de l'évaluation.

(iii) Les éléments de preuve, analyses et arguments

La plupart des réglementations nationales expriment les critères de sûreté en termes de dose et/ou de risque, et l'évaluation de ces indicateurs, réalisée au moyen d'analyses mathématiques ou d'arguments plus qualitatifs pour un éventail de scénarios évolutifs concernant le système de stockage, tient une place prépondérante dans tous les dossiers de sûreté destinés à un examen réglementaire. Cependant, la robustesse du dossier de sûreté est renforcée par l'utilisation de plusieurs lignes de raisonnement aboutissant à un ensemble d'arguments de sûreté complémentaires pour pallier les faiblesses d'un argument particulier. Les éléments de preuve et arguments complémentaires à l'appui d'un dossier concernant la sûreté, peuvent comprendre: (i) les observations générales qui confirment l'efficacité du dépôt géologique en tant que mode possible de gestion des déchets, (ii) les données concrètes concernant la qualité intrinsèque du site et du concept, (iii) les indicateurs de la sûreté complémentaires à la dose et au risque et (iv) les arguments légitimant la stratégie choisie pour identifier et gérer les incertitudes et les questions en suspens.

(iv) Synthèse

En général, un dossier de sûreté statuera sur la confiance dans la possibilité d'atteindre les objectifs de sûreté visés pour justifier le passage à l'étape suivante de la planification ou de la mise en œuvre du dépôt. Il s'agit d'une *déclaration de confiance* de la part de l'auteur du dossier de sûreté – en principe l'exploitant – fondée sur les analyses et les arguments développés et les éléments de preuve recueillis. Il appartient au destinataire du dossier de sûreté de décider s'il adhère au raisonnement qui est présenté et s'il partage la confiance de l'auteur du dossier de sûreté. À cette fin, une synthèse des

éléments de preuve, des arguments et des analyses disponibles est effectuée. Cette analyse devrait faire ressortir les raisons par lesquelles la poursuite du développement et la mise en œuvre du système de dépôt est justifiée.

Considérations générales pour la présentation du dossier de sûreté

Lors de la présentation du dossier de sûreté il faudrait garder à l'esprit les principes généraux suivants :

(i) Déclaration sur la finalité et le contexte

Une présentation du plan général du programme ainsi qu'une indication de l'étape, ou du point de décision, à l'intérieur du programme au regard de laquelle le dossier de sûreté est présenté doit être fournie. Les parties prenantes disposeront ainsi du contexte dans lequel la solidité du dossier de sûreté au moment choisi et l'ampleur des incertitudes qui demeurent pourront être jugées.

(ii) Préoccupations et besoins de l'auditoire visé

Selon les intérêts, les préoccupations et le niveau de connaissance technique de l'auditoire, une argumentation, une analyse ou un aspect particulier sera privilégié plutôt qu'un autre. L'auditoire visé peut être l'autorité réglementaire, les responsables politiques, le grand public, ou encore les spécialistes techniques à l'intérieur de l'organisation chargée de la gestion des déchets. Différents niveaux documentaires peuvent donc s'avérer nécessaires, mais tous doivent demeurer cohérents entre eux. Un dossier de sûreté peut être exprimé sous diverses formes et être plus ou moins étoffé selon l'auditoire visé. À tous les niveaux techniques, la présentation doit s'appuyer sur des fondements scientifiques et techniques rationnels et sur des travaux de recherche et développement (R&D) effectivement réalisés. Une certaine flexibilité doit être préservée pour pouvoir répondre aux demandes de l'auditoire. Des simplifications excessives pourraient conduire à des déclarations non fondées ou exagérément optimistes concernant la sûreté, ce qu'il conviendrait d'éviter.

(iii) Autres considérations

Pour en asseoir la crédibilité, les considérations suivantes doivent être prises en compte lors de l'établissement du dossier de sûreté :

- **Transparence** – un dossier de sûreté doit être présenté à la fois de façon claire et intelligible pour les auditoires visés ; l'objectif est

d'aider à la prise de décisions d'ordre organisationnel ou personnel en matière de sûreté.

- Traçabilité – s'agissant du processus de prise de décisions étape par étape et des publics plus techniques, il faut pouvoir remonter à l'ensemble des hypothèses et des données de base, soit dans les documents proprement dits, soit dans des dossiers complémentaires.
- Ouverture – concernant les incertitudes du moment, les questions en suspens et les autres facteurs susceptibles d'affaiblir la confiance que l'on pourrait raisonnablement atteindre dans la sûreté potentielle du système de stockage ne doivent pas être occultés.
- Examen par les pairs – l'examen par les pairs, interne ou externe, est un instrument précieux pour renforcer la confiance de l'auteur d'un dossier de sûreté, et plus largement de la communauté scientifique et technique.

1. INTRODUCTION

Toutes les phases du cycle du combustible nucléaire et les utilisations de matières radioactives à des fins industrielles, médicales, militaires et scientifiques sont sources de déchets radioactifs. L'ensemble de ces déchets doit être géré de façon sûre. Les déchets les plus dangereux et à vie longue, tels que le combustible nucléaire usé et les déchets provenant du retraitement du combustible, doivent être confinés et isolés de l'homme et de l'environnement pendant de nombreux millénaires. À l'heure actuelle, le stockage dans des formations géologiques ouvragées est l'option privilégiée pour la gestion des déchets radioactifs, car elle apporte sécurité et sûreté sans nécessiter de surveillance active, de maintenance et de contrôles institutionnels [1]. Le stockage dans des formations géologiques ouvragées a été jugé techniquement faisable en principe [2] ; il a également été jugé éthiquement et écologiquement acceptable [3] ; et il a été en outre entériné au plan juridique international [4]. Le dépôt des déchets radioactifs à vie longue dans des installations ouvragées, ou des dépôts, implantées à grande profondeur dans des formations géologiques appropriées, qui sont fermées et scellées après la mise place des déchets, fait l'objet d'études approfondies dans le monde entier dans le but de protéger l'homme et l'environnement, aujourd'hui et dans le futur.

L'autorisation de construire, d'exploiter et de fermer un dépôt ne sera octroyée que si sa sûreté peut être démontrée. Un dépôt est réputé sûr, d'un point de vue technique, s'il respecte les normes de sûreté telles qu'elles sont recommandées à l'échelon international ou spécifiées par l'autorité nationale de sûreté compétente. Le présent rapport traite de la sûreté dans la période postérieure à la fermeture. Cependant, l'obtention d'une autorisation est également subordonnée à un examen obligatoire des impacts et des risques potentiels pendant l'exploitation du dépôt et avant sa fermeture. Cela inclut :

- la sécurité des déchets contre une intrusion ou une reprise non autorisée ;
- la sécurité des travailleurs dans des conditions normales d'exploitation et en cas d'accidents ;

- la protection du public contre des expositions radiologiques potentielles, par exemple à la suite d'accidents durant le transport et sur le lieu de l'installation ; et
- la protection radiologique de l'environnement aux alentours du dépôt.

En outre, les impacts classiques (non radiologiques) environnementaux, sociaux et économiques de la mise en œuvre, de l'exploitation et de la fermeture de l'installation devront être évalués et, dans la plupart des pays, présentés dans une évaluation d'impact sur l'environnement en tant qu'étape indispensable pour aller de l'avant dans le développement du dépôt.

L'évaluation de la sûreté en phase post-fermeture correspond au processus d'analyse de la performance d'un dépôt montrant avec un degré de confiance approprié, qu'il demeurera sûr pendant une longue période dépassant la durée pendant laquelle une surveillance active de l'installation peut être menée. Cela suppose de comprendre comment, et dans quelles circonstances, des radionucléides pourraient être relâchés du dépôt, quelle serait la probabilité de rejets potentiels et quelles pourraient en être les conséquences radiologiques pour l'homme et l'environnement. Il importe de comprendre comment les caractéristiques géologiques du site et les éléments du stockage se conjuguent pour empêcher, réduire les risques, ou atténuer de tels rejets. Cela suppose de rassembler des données, d'élaborer des modèles et de réaliser des analyses de sûreté. En outre, ces dernières années, la portée des évaluations de la sûreté a été élargie de façon à prendre en compte la collecte d'un large éventail d'arguments qui complètent et corroborent la fiabilité des résultats des analyses quantitatives [5].

Des évaluations de sûreté sont réalisées périodiquement tout au long des phases de développement, de construction et d'exploitation du dépôt, puis préalablement à sa fermeture. Elles sont utilisées pour élaborer et compléter progressivement un dossier de sûreté, qui correspond à une compilation méthodique d'éléments de preuves, d'analyses et d'arguments destinés à quantifier et à étayer la confiance dans la sûreté du dépôt. À certains égards, le dossier de sûreté peut être rapproché à un dossier de jurisprudence dans lequel des argumentaires sont développés, et pour lequel la qualité de chacun d'entre eux doit être évaluée pour pouvoir aboutir à un jugement sur sa valeur afin d'appuyer une décision. Un dossier de sûreté préliminaire peut être établi dès les premières phases d'un projet de dépôt. Cependant, le dossier de sûreté s'étoffe et se consolide au fur et à mesure de l'avancement des travaux, de l'expérience acquise et des informations obtenues, y compris pendant toute la phase de surveillance en pré-fermeture.

Encadré 1 : Définitions de l'évaluation de la sûreté et du dossier de sûreté

Source : AIEA/AEN Draft of Safety Requirements for Geological Disposal, DS 154 2004[6].

L'évaluation de la sûreté est le processus d'analyse systématique des dangers associés à l'installation et de l'aptitude du site et de la conception à remplir les fonctions de sûreté et à respecter les prescriptions techniques.

Le dossier de sûreté est une synthèse des arguments et des éléments de preuve qui décrivent, quantifient et étayent la sûreté, et le niveau de confiance dans la sûreté, de l'installation de stockage en formations géologiques.

Le présent rapport a pour objectif de définir et d'examiner la finalité des dossiers de sûreté concernant les dépôts dans des formations géologiques pour les déchets radioactifs à vie longue, encore que certains aspects du débat s'appliquent aussi aux dépôts destinés à recevoir d'autres types de déchets radioactifs et non radioactifs. Il s'agit, à la fois, de dresser un état des lieux à l'intention des personnes engagées dans l'élaboration de dossiers de sûreté et d'expliquer la spécificité de ces dossiers aux experts de la sûreté dans d'autres domaines, et aux personnes participant ou portant un intérêt au processus de décision dans la gestion des déchets radioactifs.

Le rapport présente quelques considérations de portée générale illustrées par quelques exemples précis, mais il ne prétend pas être normatif. En effet, bien que la présentation d'un dossier de sûreté soit une obligation légale pour certaines décisions dans certains pays, cette obligation juridique peut prendre des aspects très variés, et par conséquent la forme et la présentation du dossier de sûreté doivent être ajustées en conséquence.

Le chapitre 2 décrit les éléments du dossier de sûreté, et examine un certain nombre de considérations générales relatives à sa présentation.

Le chapitre 3 concerne l'approche globale adoptée pour parvenir à un stockage sûr – la stratégie de sûreté – et ses éléments, à savoir la stratégie de gestion, la stratégie d'implantation et de conception et la stratégie d'évaluation.

Le chapitre 4 porte sur les informations et les instruments d'analyse relatifs à l'évaluation de la sûreté – la base de l'évaluation.

Le chapitre 5 décrit la nature des éléments de preuves, des analyses et des arguments susceptibles d'entrer dans un dossier de sûreté, et la façon dont l'ensemble est synthétisé aux fins de l'élaboration d'un dossier de sûreté, ainsi que la problématique de la confiance.

Enfin, le chapitre 6 présente des remarques conclusives.

On notera que l'AIEA établit plusieurs documents qui traitent de la question du dossier de sûreté. Le document fondamental, concernant les prescriptions de sûreté applicables au stockage des déchets radioactifs en formations géologiques, est en cours d'élaboration en collaboration avec l'AEN [6].

2. LE DOSSIER DE SÛRETÉ ET CONSIDÉRATIONS CONCERNANT SA PRÉSENTATION

2.1 Le rôle du dossier de sûreté post- fermeture dans la planification et la mise en œuvre d'un dépôt

Le développement d'un dépôt suppose à la fois un effort national important qui s'échelonne sur plusieurs décennies et la mobilisation d'une main-d'œuvre spécialisée et de ressources financières et techniques conséquentes. Le développement et la mise en œuvre se déroulent selon un processus séquentiels jalonné de rendez-vous décisionnels et sont un aspect de la stratégie de gestion, telle qu'elle est discutée dans le chapitre 3. Dans un programme de stockage, les premiers points de décision peuvent être la définition des catégories et de la quantité des déchets à stocker, le choix de la formation hôte et de la conception, les besoins généraux en matière de R&D et le choix des sites à étudier. Une fois un site sélectionné et un premier concept technique défini, les décisions peuvent s'accompagner d'une planification plus détaillée de l'ampleur des investigations à effectuer en surface et en profondeur, notamment des éléments de démonstration de la faisabilité technique des éléments clés, des choix entre diverses variantes du concept envisagé et l'optimisation de l'aménagement souterrain. À un stade plus avancé du programme, l'organisme de gestion se concentrera sur l'obtention de l'ensemble des autorisations juridiques ou réglementaires nécessaires pour la construction, l'exploitation et, la fermeture.

En principe une évaluation détaillée de la sûreté et la présentation d'un dossier de sûreté sous la forme d'un ensemble de documents structurés sont nécessaires à chaque étape décisionnelle du processus de développement, de mise en œuvre et d'exploitation, notamment lors de décisions qui requièrent l'octroi d'autorisations. Une autorisation d'exploiter, de fermer, et même le plus souvent, d'entamer la construction d'une installation sera accordée uniquement à la condition que l'exploitant ait soumis un dossier de sûreté qui, de l'avis de l'autorité réglementaire, atteste que les normes et prescriptions applicables sont respectées. Constituer un dossier de sûreté en vue d'obtenir l'autorisation d'un dépôt est une tâche complexe qui suppose application, ressources et un

engagement à long terme par un ensemble de parties prenantes². Des évaluations techniques et des évaluations de sûreté moins fouillées peuvent suffire pour étayer le processus de développement et de prise de décision interne de l'exploitant. La préparation rigoureuse d'un dossier de sûreté en vue de sa présentation à un examen scientifique et technique, à un examen réglementaire ou à d'autres examens non techniques de portée plus générale, est cruciale pour assurer que la sûreté en phase post-fermeture est prise en compte explicitement et en toute clarté à chaque étape du projet.

Si, à un stade donné, les décideurs souscrivent aux conclusions du dossier de sûreté – c'est-à-dire s'ils estiment qu'un niveau de confiance suffisant dans la sûreté a été atteint pour justifier l'autorisation de passer d'une étape à la suivante – alors la permission d'aller de l'avant peut être accordée (sous réserve des contraintes sociales, politiques et juridiques). Dans le cas contraire, un examen peut s'avérer nécessaire pour déterminer les modifications requises, ou les points pour lesquels un renforcement de la confiance est possible. Les possibilités sont les suivantes : attendre jusqu'à la réalisation d'études complémentaires pour clarifier puis réduire les incertitudes ; lancer des initiatives pour emporter l'adhésion sur les terrains social, juridique ou politique ; ou, s'il y a lieu, faire marche arrière, c'est-à-dire réexaminer les solutions de rechange, par exemple de nouveaux concepts techniques, voire la reprise de déchets déjà mis en place.

Les raisons à l'origine de toute décision majeure doivent en général être expliquées, puis examinées avec divers interlocuteurs, tels que l'autorité nationale réglementaire, les décideurs politiques et juridiques ou d'autres parties prenantes. L'une des fonctions fondamentales du dossier de sûreté est de fournir une plateforme pour un débat éclairé grâce auquel les parties intéressées peuvent évaluer leur propre niveau de confiance dans un projet, recenser toutes les réserves qu'ils pourraient entretenir au sujet du projet à un stade donné de la planification et de la mise en œuvre, et sérier les questions susceptibles de poser un problème ou de nécessiter des travaux complémentaires. Une telle démarche réduirait le risque de faire échouer un projet à cause de divergences dans les interprétations et les attentes des différentes parties prenantes.

La portée, le niveau de détail et le style de présentation d'un dossier de sûreté varieront en fonction de l'auditoire visé, de la décision juridique à prendre et des prescriptions juridiques et réglementaires nationales éventuelles relatives à cette décision. Cependant, le dossier doit toujours se fonder sur des

2. On entend ici par « partie prenante » une institution, un groupe ou un individu jouant un rôle dans le processus [7].

données et des arguments scientifiques solides faisant appel à une expérience technique éprouvée et des analyses fiables.

2.2 Objectifs de sûreté d'un dépôt

La principale raison d'être de la conception d'un dépôt est de confiner et d'isoler les déchets. L'isolation consiste à maintenir l'essentiel des déchets et des dangers qui s'y rapportent à l'écart de la biosphère³ et à rendre difficile une intrusion humaine délibérée en vue d'atteindre les déchets sans moyens techniques spéciaux. Le souci d'éviter des lieux d'implantation susceptibles d'attirer une intrusion humaine non préméditée peut également jouer un rôle dans le choix d'un site de stockage. Comme il est impossible en pratique de garantir un confinement et une isolation absolus pendant la totalité de la période pendant laquelle les déchets présenteront un danger potentiel, il faut en second lieu veiller à ce que tout relâchement éventuel n'entraîne pas un risque inacceptable. La sûreté après la fermeture du dépôt est assurée par les fonctions de protection passive du milieu géologique et des barrières ouvragées placées autour des déchets, ainsi que par la stabilité de la forme des déchets elle-même.

Bien que certaines mesures de surveillance et de contrôle puissent être mises en œuvre pour rassurer et convaincre les membres de la société civile, il ne faudrait pas compter sur ce genre de mesures car rien ne prouve que les sociétés futures souhaiteront les maintenir ou auront la capacité de le faire. En fait, on peut définir la fermeture d'un dépôt comme l'ensemble des dispositions administratives et techniques dont l'objet est de rendre inutile la poursuite d'un contrôle actif et, ce faisant, de ne pas reporter les décisions aux générations futures. Cela ne veut pas dire pour autant qu'il faille totalement dissuader la société civile d'intervenir dans ce domaine dans l'avenir, mais seulement que le dossier de sûreté devrait pouvoir garantir la sûreté, indépendamment de toute intervention future.

Ainsi, la sûreté et la sécurité en phase post-fermeture doivent reposer sur les principales fonctions protectrices d'isolation des déchets, et de limitation et de retard des relâchements de radionucléides. Ces fonctions de sûreté doivent être assurées de façon passive par la forme des déchets elle-même, les barrières ouvragées placées autour du déchet et l'environnement géologique. Les fonctions de sûreté sont examinées plus en détail dans le chapitre 4.

3. Dans le présent rapport on entend par biosphère la partie de l'environnement normalement habitée par l'espèce humaine, accessible à l'espèce humaine, ou utilisée par l'espèce humaine, notamment l'eau souterraine, l'eau superficielle, l'atmosphère et les ressources marines.

2.3 Éléments à l'appui du dossier de sûreté

Un certain nombre d'éléments contribuent à établir la confiance dans un dossier de sûreté et ils doivent être décrits dans toute documentation détaillée du dossier. Les relations entre ces éléments sont illustrées dans la figure 1.

La *finalité et le contexte du dossier de sûreté* doivent être expliqués clairement. Cela suppose un plan général du programme ainsi qu'une indication de l'étape, ou du point décisionnel, à l'intérieur du programme au regard de laquelle le dossier de sûreté doit être soumis. On disposera ainsi du contexte dans lequel la solidité du dossier de sûreté au moment choisi et l'ampleur des incertitudes qui demeurent pourront être appréciés.

La stratégie de sûreté, qui est la démarche intégrée retenue pour assurer un stockage sûr doit également être décrite. Elle englobe les stratégies adoptées pour la gestion globale des diverses activités requises pour le développement et la mise en œuvre du dépôt, le choix du site et de la conception, ainsi que pour la réalisation des évaluations de la sûreté (voir section 3.1). La stratégie de sûreté doit coïncider avec les impératifs du projet et permettre d'en atteindre les objectifs et de préparer les décisions futures.

Les informations et les instruments d'analyse à l'appui de l'évaluation de la sûreté doivent être décrits. Collectivement, ils constituent ce qu'il est convenu d'appeler la *base de l'évaluation* et contiennent les éléments suivants :

- la conception du système – c'est une description de l'aménagement du dépôt comprenant le système barrières ouvragées⁴, le cadre géologique et sa stabilité, les prévisions concernant l'évolution des barrières ouvragées et naturelles dans le temps et leur mode de fonctionnement pour assurer la sûreté ;
- les données et les interprétations scientifiques et techniques, y compris les arguments détaillés à l'appui de l'évolution attendue du système de stockage et les évaluations des incertitudes dans les interprétations scientifiques ;
- les méthodes d'analyse, les codes informatiques et les bases de données disponibles sur le moment pour étayer la modélisation

4. Le système de barrières ouvragées est constitué de matériaux placés à l'intérieur d'un dépôt, comprenant la forme des déchets elle-même, les colis de déchets, les matériaux tampons, le remblayage, les scellements, et les bouchons de scellement [8].

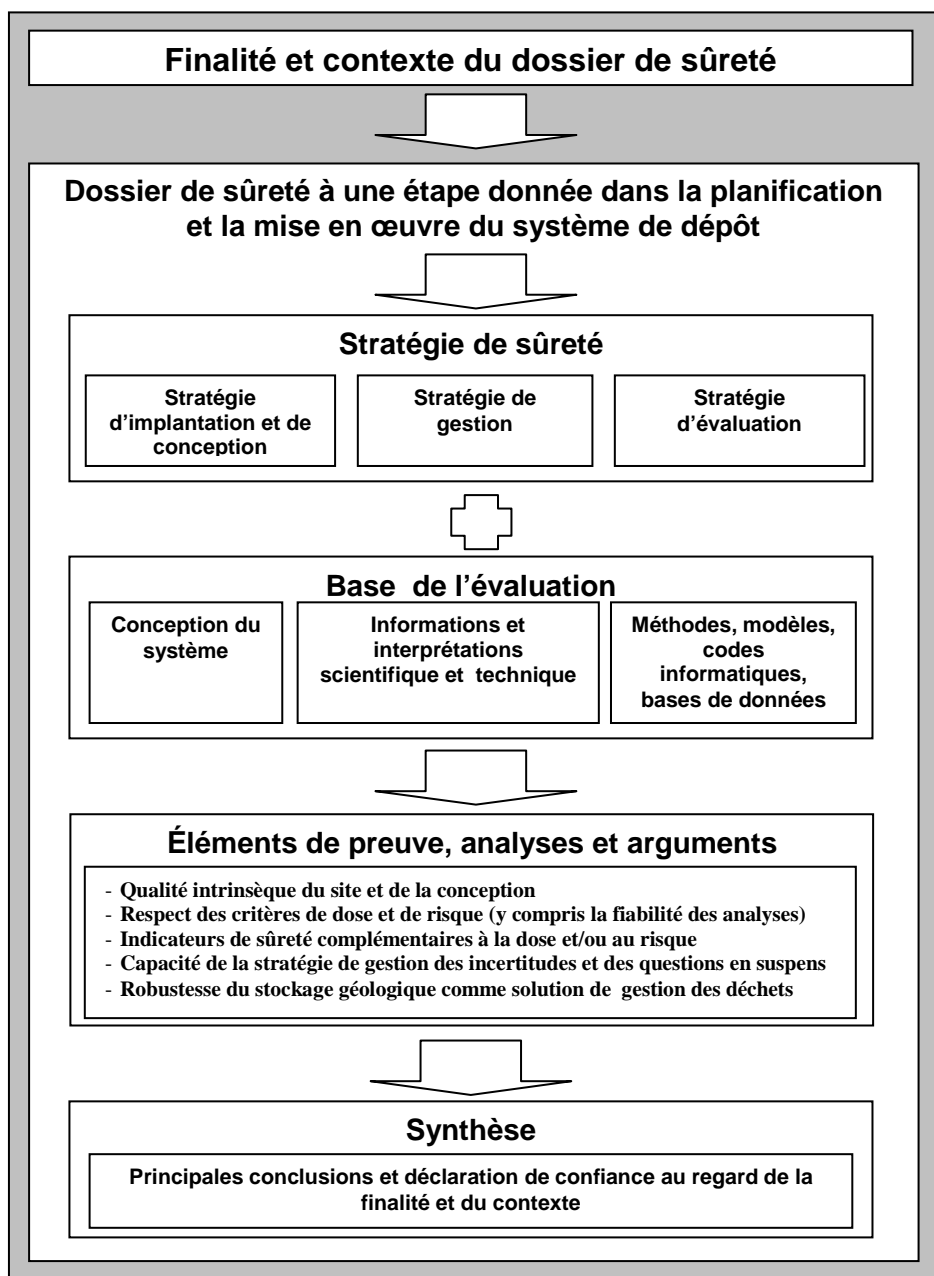
numérique du système de stockage, son évolution et la quantification de sa performance.

Le cadre du dossier de sûreté sur le caractère approprié et la fiabilité de la base de l'évaluation pour réaliser des évaluations doivent aussi être abordés.

Enfin, une *synthèse* doit être effectuée pour rassembler l'ensemble des principales conclusions tirées de l'évaluation de la sûreté, à savoir les éléments de preuve, les analyses et les arguments qui permettent de quantifier et de confirmer qu'un dépôt est sûr, notamment à travers une évaluation des incertitudes. Elle présente aussi l'argumentation à partir de laquelle l'auteur du dossier de sûreté – généralement l'exploitant – a jugé que les décisions pouvaient être prises sans risque (e.g. la planification et le développement de la conception peuvent continuer). Ce jugement est *une déclaration de confiance* dans les capacités du système de stockage en matière de sûreté, compte tenu de la base de connaissance disponible pour l'évaluation à une étape donnée du programme de dépôt.

Les chapitres qui suivent présentent une description de la stratégie de sûreté, de la base de l'évaluation, des types d'éléments de preuve, des analyses et des arguments qui sont disponibles, et de la synthèse de tous ces éléments dans un dossier de sûreté. Les sections suivantes du présent chapitre énoncent quelques considérations de portée générale au sujet de la présentation du dossier de sûreté.

Figure 1. Vue d'ensemble des relations entre les différents éléments d'un dossier de sûreté



2.4 Considérations générales sur la présentation d'un dossier de sûreté

Finalité et contexte d'un dossier de sûreté

Le bien-fondé du dossier de sûreté doit être apprécié au regard de l'étape à laquelle il se réfère dans le processus de développement et de la mise en œuvre d'un dépôt et de toutes les décisions ultérieures à prendre. La description de la finalité et du contexte du dossier de sûreté devrait mentionner :

- l'étape du processus en cours où le programme de développement se situe ;
- comment seront testées ou confirmées les caractéristiques requises de l'environnement géologique du dépôt ;
- comment sera assurée la faisabilité de la fabrication ou de la construction d'un système de barrières ouvragées ;
- comment le dépôt sera construit, exploité puis fermé ; et
- comment ces procédures seront contrôlées, ainsi que les facteurs de programmation et les pratiques qui conditionnent le déroulement du processus.

Il peut être aussi judicieux de décrire les décisions fondamentales qui ont déjà été prises et qui devront être prises dans l'avenir ainsi que les initiatives qui découleront des décisions d'aller de l'avant, ainsi que les responsabilités incombant aux différentes organisations qui prennent part au processus décisionnel.

Il appartient aux gouvernements de fournir un cadre juridique et pratique où pourront s'inscrire l'implantation, la conception, la construction, l'exploitation et la fermeture des installations de stockage dans des formations géologiques. L'autorité réglementaire nationale définira les règles de sûreté radiologiques, notamment les contraintes de dose et/ou de risque, qui déterminent les niveaux de dommages physiques et de probabilité de dommages (risques) qui sont acceptables pour des circonstances et des types d'installations donnés (l'interprétation des doses et des risques évalués est analysée dans la section 3.4). L'ensemble prendra place dans le contexte des traités, recommandations et orientations en vigueur à l'échelon international régissant les activités relatives à la gestion des déchets radioactifs destinées à parer aux dangers radiologiques qui leur sont associés [9, 10, 11 et 12]. L'exploitant planifiera et construira l'installation en se fixant pour objectif de respecter ces prescriptions. L'autorité de sûreté suivra les travaux de l'exploitant au fur et à mesure de leur avancement, (notamment le dossier de sûreté) et pourra établir ou préciser des

prescriptions et des orientations et parvenir à un ensemble approprié de normes, prescriptions et procédures de contrôle applicables à l'installation pendant sa construction, son exploitation et sa fermeture. Le dossier de sûreté devrait respecter, et montrer la conformité aux prescriptions établies dans les documents réglementaires, en adéquation avec l'état d'avancement du programme et le point de décision qui a été atteint.

Préoccupations et besoins de l'auditoire visé

En fonction de sa finalité, le dossier de sûreté pourrait avoir comme auditoire privilégié l'organisme réglementaire, les décideurs politiques, la communauté scientifique au sens large ou le public, ainsi que les spécialistes techniques au sein de l'organisation chargée de la mise en œuvre. L'importance donnée à tel ou tel argumentaire ou analyse, et à tel ou tel aspect du mode de présentation, doit tenir compte des intérêts, des préoccupations et du niveau de connaissance technique du public visé. Un dossier de sûreté parfaitement étayé peut être considéré comme un point de départ pour des présentations, des brochures, etc. spécialement adaptées aux besoins, à l'expertise technique et aux attentes de différentes parties prenantes. Un certain degré de souplesse et de traçabilité doit être maintenu pour pouvoir répondre aux demandes d'éclaircissements que pourraient formuler les destinataires du dossier de sûreté.

Les spécialistes techniques incluant les autorités réglementaires et la communauté scientifique au sens large, attendent une présentation détaillée ainsi que des analyses rigoureuses et des arguments solides concernant la sûreté. Un dossier de sûreté soumis à un examen réglementaire devra non seulement apporter la preuve du respect des règles et des prescriptions applicables, mais aussi contenir une description à jour de l'ensemble des connaissances scientifiques et techniques, y compris un récapitulatif des travaux effectués qui étayent les déclarations figurant dans le dossier de sûreté.

Des spécialistes souvent engagés pour aider les responsables politiques (et les organismes réglementaires) peuvent effectuer des expertises techniques indépendantes d'un dossier de sûreté. En général, ces spécialistes exercent leurs compétences dans les disciplines scientifiques ou techniques, sans être nécessairement au fait de leur application au cas particulier de la sûreté du stockage géologique. Le dossier de sûreté doit donc aider ces destinataires dans leur prise de décision à une étape donnée, par le biais d'un exposé clair des implications des connaissances scientifiques et techniques acquises et des incertitudes sur la sûreté.

Les responsables politiques doivent rendre des comptes au public et prendre les décisions quant à l'opportunité, au moment et à la façon de mettre

en œuvre le stockage dans des formations géologiques qui nécessiteront vraisemblablement un examen par le public et l'intervention de l'ensemble des parties prenantes compétentes. En effet, dans le cas d'une initiative citoyenne comme un referendum, le public *est* le décideur.

La présentation d'un dossier de sûreté au public doit mettre l'accent sur les questions les plus susceptibles de l'intéresser et afficher un style accessible à un auditoire très hétérogène quant à ses connaissances de base techniques et non techniques. Le plus souvent, le grand public qui n'est composé ni d'experts ni de spécialistes a besoin d'un dossier de sûreté encore plus transparent et lisible dans lequel les arguments en faveur de la sûreté sont exposés de façon claire et, selon toute vraisemblance, en termes plus qualitatifs. Le recours à différents médias pour mieux visualiser certaines notions mal connues des publics non avertis peut s'avérer judicieux pour illustrer un contenu technique complexe.

Un dossier de sûreté conçu comme une plateforme en vue d'un débat avec une vaste audience, y compris le grand public, peut ne pas insister sur les mêmes lignes de raisonnement, arguments et analyses qu'un dossier de sûreté destiné à l'autorité de sûreté et à d'autres spécialistes techniques. Comme cela est indiqué dans [2, 13, 14], les premiers siècles qui suivront la mise en place des déchets sont probablement la période qui préoccupera le plus de larges secteurs de la population et on pourrait s'y attarder plus longuement dans la présentation du dossier de sûreté au public. En matière de sûreté, le public pourrait juger plus parlants, plus convaincants et plus pertinents des éléments de preuves moins quantitatifs comme par exemple des observations tirées d'analogues naturels, par rapport à des résultats de modèles mathématiques complexes. La surveillance qui peut être exercée dans la période d'exploitation et la période suivant immédiatement la fermeture pourrait être également de nature à augmenter la confiance du public. Les arguments relatifs aux très longues échelles de temps peuvent moins intéresser certains membres du public. Cependant, celui-ci étant hétérogène, des mesures doivent être prises si possible pour déterminer quels sont les sujets de préoccupation du public et y répondre point par point.

Quel que soit l'auditoire, un dialogue doit être engagé pour s'assurer que les messages du dossier de sûreté soient suffisamment clairs, pour comprendre les préoccupations et les intérêts éventuellement divers de chaque public, et répondre aux interrogations en donnant des compléments d'information ou en procédant à de nouvelles présentations. Toutes les versions du dossier de sûreté doivent être cohérentes entre elles et être fondées sur des bases scientifique et techniques solides qui intègrent les travaux de R&D déjà réalisés. Une certaine flexibilité doit cependant être maintenue pour pouvoir faire face aux demandes de l'auditoire. Il convient d'éviter les simplifications excessives conduisant à

des représentations erronées du système de stockage et de son évolution, ainsi qu'à des déclarations dénuées de fondement ou exagérément optimistes.

Considérations générales

Lors de la présentation d'un dossier de sûreté, certains aspects doivent être pris en compte de façon à établir ou à démontrer sa crédibilité et, ce faisant, à renforcer la confiance de l'auditoire visé dans ses conclusions. Cela inclut :

La transparence

Un dossier de sûreté doit être présenté à la fois de façon claire et intelligible et doit répondre aux besoins et attentes de l'auditoire. Ainsi, un auditoire plus technique pourrait vouloir analyser les justifications qui sous-tendent les hypothèses de base et attendra de ces informations qu'elles soient mises spontanément à sa disposition. Il s'agit en l'occurrence d'étayer la prise de décision organisationnelle ou personnelle des destinataires concernant la sûreté potentielle du système.

La traçabilité et la perspective historique

Les publics techniques (tels que l'autorité réglementaire et les examinateurs techniques) demanderont vraisemblablement à avoir accès à toutes les hypothèses de base admises dans une évaluation de sûreté pour pouvoir, le cas échéant, reproduire les résultats importants. En outre, la confiance d'un auditoire devrait être renforcée si on lui montrait que la stratégie prônée au cours des étapes antérieures d'un projet pour gérer, par exemple, les incertitudes pertinentes pour la sûreté, a effectivement été appliquée et couronnée de succès. Cela suppose de tenir à disposition la liste de toutes les décisions importantes, ainsi que leurs fondements ou leurs justifications, notamment les décisions relatives au choix du site et à la conception du dépôt, à la planification et à la mise en œuvre du programme de recherche, à l'interprétation des données d'observation, aux scénarios élaborés pour approfondir l'évaluation, ainsi qu'à la mise au point de modèles conceptuels et à leur représentation sous forme de codes informatiques. Compte tenu de la diversité des informations, des éléments d'argumentation qui constituent généralement le dossier de sûreté, il pourrait être judicieux d'adopter une structure documentaire hiérarchisée où le niveau de détail irait de pair avec la profondeur de l'analyse. Dans ce cas, les flux d'informations au moyen d'un système d'indexation précis et, éventuellement, d'un diagramme des flux d'informations pourront être visualisés.

La transparence sur les incertitudes du moment, les questions en suspens et les facteurs susceptibles d'affecter la confiance raisonnable obtenues dans la sûreté potentielle du système au fur et à mesure de son évolution

Quelques incertitudes et questions en suspens sont inévitables, surtout dans les premières étapes d'un projet. Il peut y avoir par exemple des incohérences dans les données concernant un site particulier ou des désaccords entre les spécialistes techniques au sujet de certains des éléments de preuve, analyses et arguments relatifs à la sûreté. Un dossier de sûreté devrait prendre acte des incertitudes, montrer comment elles ont été déterminées et prises en compte, analyser leurs conséquences et expliquer comment toutes celles qui sont importantes pour la sûreté seront de nouveau abordées ou gérées dans les étapes suivantes du projet. Cela peut se traduire par le maintien de plusieurs options ou variantes d'architectures pour gérer les incertitudes non résolues.

L'examen par les pairs

Qu'il soit interne ou externe, l'examen par les pairs est un instrument précieux pour renforcer la confiance de l'auteur d'un dossier de sûreté ou des parties prenantes. En dehors des spécialistes de la gestion des déchets, la communauté scientifique et technique au sens large peut également participer à un examen externe, pour son propre compte ou pour celui d'autres parties prenantes. Dans leur recherche de points de repère pour apprécier la sûreté du système, les experts devraient poser des questions sur les fondements scientifiques et pas seulement sur des modèles, des codes ou les bases de données spécifiques. Sur quoi sont fondés les choix des processus et de la modélisation des interactions entre les processus qui sont difficiles à observer compte tenu des échelles de temps et d'espace modélisés ? Sur quoi reposent le raisonnement scientifique, les domaines de valeur des paramètres ainsi que leurs distributions et les incertitudes associées ? C'est précisément ces interrogations que le dossier de sûreté doit anticiper et adresser.

3. STRATÉGIE DE SÛRETÉ

3.1 Définition et éléments

La stratégie de sûreté est l'approche globale d'intégration adoptée pour atteindre la sûreté d'un dépôt. Elle inclut une stratégie de choix d'un site, de conception et de mise en œuvre d'un dépôt et *in fine* la constitution d'un dossier de sûreté susceptible de répondre aux besoins et aux attentes des décideurs à chaque étape du projet. L'aptitude de la stratégie de sûreté à atteindre les objectifs du projet fait elle-même partie intégrante du dossier de sûreté et doit par conséquent être examinée lors de la constitution du dossier. La décision de publier séparément la stratégie de sûreté ou de l'intégrer dans le dossier de sûreté est de la responsabilité de l'exploitant.

Trois éléments de la stratégie sûreté (voir figure 1) peuvent être différenciés :

- la stratégie de gestion globale des diverses activités requises pour le développement, la mise en œuvre et la fermeture du dépôt, y compris le choix du site et la conception, l'évaluation de la sûreté, la caractérisation du site et des formes de déchets et la R&D. Cette gestion a pour objet de maintenir les efforts concentrés sur les objectifs du projet, d'affecter les ressources aux diverses activités individuelles et de veiller à la bonne co-ordination et l'exécution de ces activités ;
- la stratégie de choix du site et de conception, pour sélectionner un site et élaborer des solutions techniques pratiques compatibles avec les caractéristiques du site retenu et les diverses catégories de déchets à stocker ; et
- la stratégie d'évaluation, pour réaliser des évaluations de sûreté et définir la méthode d'évaluation des éléments de preuve, analyser l'évolution du système et ce faisant étoffer ou actualiser le dossier de sûreté.

Ces éléments sont étroitement interdépendants et une stratégie de gestion rationnelle ainsi qu'un système judicieusement situé et bien conçu faciliteront la

constitution d'un dossier de sûreté étayé et convaincant. Cependant, il s'agit d'un tout aussi des insuffisances dans l'un ou l'autre élément ne saurait être compensées par la valeur des deux autres.

Un élément important de la stratégie de sûreté concerne la gestion des incertitudes (voir section 3.4). Les incertitudes généralement liées au manque de connaissances peuvent être réduites en investissant dans la recherche. Ou bien, elles peuvent être évitées ou leur impact atténué par le biais du choix du site, de la conception et des options de construction. La stratégie de gestion des incertitudes peut évoluer au fur et à mesure que de nouvelles informations sont disponibles. Dans l'intérêt de la transparence, il est important de reconnaître quand une augmentation des incertitudes ou des modifications de la conception s'impose du fait de nouveaux essais et de nouveaux résultats d'évaluations. Il est peu probable qu'en ne répercutant que les travaux scientifiques qui tendent à conforter les concepts existants ou la stratégie du moment pour la gestion des incertitudes, on renforce à long terme la confiance des parties prenantes.

3.2 Principes directeurs

Le principe de précaution

La stratégie de sûreté peut différer d'un programme national à l'autre en fonction, par exemple, de la nature et des quantités de déchets à stocker, des roches hôtes potentielles et des milieux géologiques disponibles, ainsi que des préférences et des choix propres à chaque pays. Cependant, tous les programmes nationaux aspirent à des stratégies compatibles avec des pratiques et des principes rationnels de gestion, de choix de site et d'ingénierie, notamment le principe de précaution, qui revient en l'occurrence à « pêcher par excès de prudence ».

Conformément au principe de précaution :

- Une stratégie de choix du site et de conception est adoptée visant à élaborer un système fiable et robuste. Les systèmes robustes ne présentent pas de caractéristiques et de phénomènes complexes, mal compris ou difficiles à décrire. Ils facilitent le contrôle qualité et se distinguent par une absence totale ou partielle de sensibilité aux événements perturbateurs se produisant aussi bien à l'intérieur du système dans le dépôt et la roche hôte qu'à l'extérieur du système sous la forme de phénomènes géologiques et climatiques, et aux incertitudes susceptibles de compromettre la sûreté.

- Une stratégie d'évaluation est adoptée en apportant au dossier de sûreté un éventail d'arguments et d'analyses fondés et étayés, dans la mesure du possible, par plusieurs lignes de raisonnement irréprochables dans leur traitement des incertitudes. Le dossier de sûreté peut, par exemple, tenir compte de l'ensemble des processus pouvant affecter la performance du système, mais dans les documents à l'appui du dossier de sûreté, on peut privilégier un nombre limité de processus ou de caractéristiques importants pour les fonctions de sûreté du dépôt et de son environnement qui sont bien compris et fiables, tels que les colis de longue durée et les propriétés stables de la roche d'accueil. En outre, les processus ou caractéristiques préjudiciables aux fonctions de sûreté seront identifiés et pris en compte.

Le besoin de flexibilité

Il faudrait prévoir un certain degré de flexibilité dans le développement et la mise en œuvre d'un dépôt. Il s'agit de pouvoir parer à des caractéristiques inattendues du site ou à des difficultés techniques et des incertitudes qui pourraient surgir, et de profiter de l'avancée dans les connaissances scientifiques et l'ingénierie. À cet égard, l'expérience acquise à l'occasion de projets en collaboration au niveau national et international dans des laboratoires en surface et souterrains, est particulièrement précieuse [15].

La flexibilité importe surtout en raison des échelles de temps et de la rareté des données, notamment en ce qui concerne l'environnement géologique dans les étapes préliminaires d'un projet. Certaines incertitudes ne peuvent être levées que par des méthodes de recherche mises en place pendant la construction du dépôt. Il peut aussi s'avérer nécessaire de réagir à des modifications intervenant dans l'environnement social et politique durant le déroulement d'un projet. Ainsi, le choix du site, la mise au point d'une conception appropriée pour le site retenu, la caractérisation du site et d'autres activités de R&D sont effectués de front selon une démarche itérative et progressive, fournissant un cadre pour :

- la réalisation par l'exploitant, au cours de chacune des étapes, d'études et d'analyses scientifiques et techniques approfondies, notamment une estimation de la sûreté et une évaluation de l'incertitude ;
- la réalisation, par l'autorité de sûreté, d'un examen scientifique et technique poussé et l'élaboration de lignes directrices et de prescriptions ; et

- l'organisation de consultations et d'autres formes d'interactions avec les acteurs politiques et sociaux.

La flexibilité pourrait favoriser l'adhésion de la société, car la mise en œuvre par étapes prend du temps, d'où la possibilité d'entreprendre des études de confirmation et des démarches en direction du public. Dans l'étude des avantages de solutions alternatives, il conviendrait de fixer un jalon décisionnel concernant le maintien du choix de conception initial ou son changement. Cependant, s'il est proposé de changer d'options, il importe d'évaluer les ressources requises pour amener la nouvelle solution à un stade de développement équivalent aux principales options disponibles. Autrement dit, il ne faudrait pas renoncer trop rapidement à une solution techniquement mature en faveur d'une autre moins étudiée qui pourrait avoir des inconvénients qui se révéleraient plus tard. Il ne s'agit pas en l'occurrence d'un manquement à l'objectivité, mais plutôt d'une manifestation de réalisme dans le processus de décision.

3.3 Robustesse et concept de barrières multiples

En principe, les dépôts sont implantés dans des milieux géologiques stables qui offrent des conditions favorables dans lesquelles les déchets et les barrières ouvragées se trouvent protégés, cette protection étant assurée pour une longue durée. En pratique, cela signifie que les principales caractéristiques de sûreté, telles que la stabilité mécanique, la faible circulation des eaux souterraines et des conditions géochimiques favorables, ne devraient pas changer de façon significative pendant les échelles de temps concernées. On choisira donc généralement des environnements qui :

- ne devraient pas être affectés par des mouvements tectoniques, des phénomènes volcaniques ou d'autres phénomènes géologiques majeurs pouvant provoquer des changements rapides ou soudains des conditions géologiques ou géochimiques ;
- sont largement à l'abri des événements et des processus intervenant près de la surface, y compris les effets du changement climatique ; et
- sont dépourvus de ressources naturelles susceptibles d'attirer des forages de prospection, d'où une réduction au minimum des risques d'intrusion humaine involontaire, lorsqu'on aura perdu la mémoire de l'emplacement du dépôt.

Les concepts de dépôts sont adaptés aux caractéristiques favorables du site retenu, aux formes de déchets et aux quantités à stocker. Pour ce faire, on emploie, pour les systèmes de barrières ouvragées des dépôts, des matériaux qui

sont en général bien compris, testés, correctement caractérisés, et résistants à la dégradation physique et chimique dans les conditions qui devraient régner dans l'environnement géologique. À cet égard, il y a des avantages à avoir recours à des matériaux ouvragés qui ont déjà été utilisés dans des applications comparables. Pour obtenir une autorisation de stockage dans un dépôt géologique, les producteurs de déchets sont tenus de respecter les spécifications techniques applicables aux formes de déchets. Plus généralement, il existe des procédures d'assurance qualité (AQ) pour vérifier que les éléments ouvragés d'un système de stockage respectent bien les caractéristiques requises.

Toute interaction éventuelle des éléments ouvragés, entre eux ou avec l'environnement géologique, susceptible de créer des problèmes de sûreté doit être étudiée et le cas échéant, être atténuée par une modification de la conception. Les éléments ouvragés peuvent également être conçus de façon à ce que les incertitudes associées n'aient que des impacts limités sur la sûreté et que la performance requise soit largement atteinte (encadré 3). Par exemple, la performance des colis de longue durée, qui sont envisagés pour les dépôts de déchets les plus radioactifs, atténuent les effets des incertitudes associées aux phénomènes complexes et couplés thermiques, hydrauliques, mécaniques et chimiques qui pourraient se produire pendant une période transitoire suivant la fermeture du dépôt. Pour déterminer si les colis demeureront ou non intacts pendant cette phase initiale, ces phénomènes cités précédemment doivent être dûment pris en compte. Cependant, si les colis demeurent intacts tout au long de cette phase initiale, sous réserve que la compréhension du processus permette au moins d'estimer les caractéristiques du système à la fin de la période en question, les incertitudes associées aux phénomènes couplés transitoires deviennent sans objet pour la sûreté.

La robustesse est favorisée par le concept de barrières multiples, dans lequel l'action conjuguée d'une succession de barrières isole les déchets, empêche, retarde et atténue le relâchement de radionucléides vers la biosphère. Il faudrait que les barrières soient complémentaires et constituées de composants et de propriétés physique – chimiques différents, de façon à ce que les incertitudes dans la performance de l'un ou de plusieurs des composants ou propriétés puissent être partiellement compensées par la performance des autres. Un système fondé sur le concept de barrières multiples comprend habituellement la barrière naturelle, constituée par la roche d'accueil du dépôt et son environnement géologique, et le système de la barrière ouvragée. Au départ du projet, on pourrait choisir de « surdimensionner » une partie des éléments ouvragés, pour éviter ou atténuer les impacts des incertitudes initiales liées au manque de connaissances.

Les conditions dans le dépôt et son environnement évoluant au fil du temps, certaines barrières ou composants peuvent perdre de leur efficacité ou cesser de remplir certaines fonctions auxquelles se substituent partiellement de nouvelles fonctions qui prennent le relais. Autrement dit, nombre des incertitudes dans l'évolution du dépôt et de son environnement n'ont que des conséquences limitées pour la sûreté globale du système. Par exemple, les colis où sont confinés les déchets peuvent à terme se fissurer, à la suite de quoi la sûreté du dépôt pourra dépendre de processus d'immobilisation et de retard et de la faible circulation des eaux souterraines à l'intérieur et autour du dépôt. Bien qu'il soit inutile de les mettre en avant dans un dossier de sûreté, ces processus apportent également une assurance supplémentaire de la sûreté pendant les périodes où les colis devraient être intacts – c'est-à-dire que, même si la longévité des colis ou des conteneurs est inférieure aux prévisions, il existe d'autres mécanismes qui assureront néanmoins des niveaux de sûreté adéquats. Le confinement total des déchets dans les colis, l'immobilisation et le retard, et le ralentissement de la vitesse de circulation des eaux souterraines au moyen de colmatages sont des exemples de fonctions de sûreté complémentaires.

3.4 Caractérisation et gestion des incertitudes

L'un des principaux objectifs de l'évaluation de sûreté est la détermination des incertitudes susceptibles de compromettre la sûreté. Par conséquent, l'évaluation de la sûreté doit s'inscrire dans une stratégie globale de gestion. Dans le dossier de sûreté, il importe de faire le lien entre les principales incertitudes qui ont été relevées et les mesures ou actions spécifiques qui seront prises pour y remédier, en particulier en ce qui concerne le programme de R&D, pour aboutir éventuellement à un dossier de sûreté en vue d'une autorisation.

Certaines incertitudes peuvent être réduites par une caractérisation du site, des études conceptuelles, des essais de fabrication et autres essais de vérification, des expériences tant en laboratoire que dans des installations souterraines. Plus un programme avancera, plus les études se concentreront sur les incertitudes fondamentales liées à la sûreté et sur les données et les mesures spécifiques nécessaires pour les résoudre. Par exemple, les expériences *in situ* de migration de radionucléides peuvent renforcer la confiance dans les modèles de migration ou permettre leur amélioration. Parfois, l'incertitude peut être gérée par la recherche d'arguments qui conforteront des hypothèses d'évaluation ou des paramètres spécifiques, comme par exemple, des observations faites sur des analogues naturels pour confirmer la durabilité de matériaux ouvragés.

Dans d'autres cas, les sources d'incertitudes pourront être évitées ou/et leur impact atténué en changeant l'emplacement ou la conception du dépôt. Par exemple, s'il existe d'importantes incertitudes concernant les phénomènes de

corrosion affectant un colis de déchets, les caractéristiques techniques ou l'épaisseur pourront être modifiées. Si l'on a des doutes quant à la performance d'un matériau tampon à haute température, on pourrait introduire un volume plus important de matériau ou modifier la protection thermique du système. S'il existe des incertitudes sur les phénomènes se produisant à proximité de zones fissurées et fracturées, l'architecture sera ajustée afin de les éviter. Au départ, plusieurs sites potentiels peuvent être retenus et plusieurs conceptions envisagées. En effet, la conception définitive du dépôt pourrait n'intervenir que tardivement dans le processus de développement. Des analyses de la performance du système peuvent faciliter le processus de choix entre diverses solutions et l'optimisation des dimensions des composants ouvrages. Cependant, les incertitudes inhérentes aux estimations de la performance à long terme de tels systèmes compromettent la valeur des comparaisons entre les solutions envisageables. En outre, toutes les parties prenantes n'attacheront pas la même importance à des effets dont la probabilité d'occurrence est variable et qui peuvent s'appliquer à des échelles spatio-temporelles différentes. Par conséquent, l'objectif d'une stratégie de développement et de conception flexible est de définir un système capable d'assurer une sûreté appropriée et non pas de déterminer le « meilleur système possible ».

Les systèmes robustes et fiables se prêtent à une analyse rationnelle et convaincante de la sûreté. Les évaluations de la sûreté doivent néanmoins recenser, décrire et analyser les incertitudes importantes pour la sûreté et en étudier leurs effets. Ces incertitudes concernent aussi la prise en compte de l'ensemble des caractéristiques, événements et phénomènes pertinents, leur description et la façon dont il convient de les modéliser ainsi que les données nécessaires à la réalisation d'une analyse.

De nombreuses incertitudes peuvent être bornées, voire quantifiées, et des méthodes existent pour les prendre en compte dans l'évaluation de la conformité aux critères de sûreté réglementaires. Ces méthodes sont les suivantes :

- l'utilisation de techniques probabilistes, ou d'un ensemble de calculs déterministes réalisés séparément, de façon à examiner les incertitudes relatives aux données et aux modèles ou à étudier un large éventail de scénarios, ou de variantes dans l'évolution du système ; et
- l'utilisation de valeurs de paramètres et d'hypothèses prudentes qui garantissent que les modèles employés pour évaluer les conséquences radiologiques d'un dépôt sont pessimistes. Par exemple, les caractéristiques, événements et phénomènes mal compris qui sont

favorables à la sûreté sont souvent exclus des analyses quantitatives de la performance du système (voir encadré 2).

Certaines évaluations de la sûreté examinent des situations qui, sans être nécessairement physiquement impossibles, se trouvent hors du champ des possibilités étayées par des données scientifiques [« what-if »]. Cela permet de tester la robustesse du système au regard de perturbations hypothétiques, cette démarche pouvant être considérée comme une application du principe de précaution.

Certaines incertitudes susceptibles d'avoir un effet non négligeable sur les niveaux de sûreté sont difficiles à quantifier ou à borner et se prêtent moins aux méthodes mentionnées ci-dessus, notamment dans les cas où l'éventail des possibilités est très large ou incertain. L'évolution de la biosphère, et la nature et la chronologie des futures interventions humaines, par exemple, deviennent extrêmement spéculatives même à des horizons temporels relativement rapprochés. Parmi les méthodes visant à prendre en compte au moins partiellement, ou parfois à éviter, des incertitudes difficiles à chiffrer ou à circonscrire, on peut citer l'utilisation d'indicateurs de sûreté et de performance complémentaires à la dose et au risque, tel que cela est analysé, par exemple, dans [16], et l'utilisation d'approches stylisées. Les doses et les risques calculés au moyen d'approches stylisées doivent être interprétés comme des illustrations fondées sur des ensembles d'hypothèses admises et applicables à des scénarios déterminés et non pas comme des mesures réelles des dommages et des risques futurs pour la santé.

Encadré 2 : Caractéristiques, événements et processus (FEP) qui sont omis par mesure de prudence des analyses quantitatives de la performance des systèmes dans une évaluation récente de la sûreté en Suisse [13]

NOTE : Il s'agit d'exemples extraits d'un dossier de sûreté spécifique qui ne sont pas nécessairement transposables à d'autres systèmes, voire à des systèmes analogues dans des cadres différents.

FEP de réserve

Note : Les FEP de réserve sont ceux qui sont actuellement omis par mesure de prudence, mais pour lesquels des perspectives encourageantes d'avancées dans l'interprétation scientifique, les modèles et des données donnent à penser qu'ils pourraient être pris en compte à un stade ultérieur du programme de dépôt.

- Co-précipitation des radionucléides avec des minéraux secondaires provenant de la corrosion du combustible usé, du verre et du colis.
- Sorption des radionucléides sur les produits de corrosion du colis.
- Concentrations naturelles d'isotopes en solution dans l'eau interstitielle de la bentonite, qui pourraient réduire la solubilité effective de certains radionucléides.
- Processus d'immobilisation à long terme (précipitation/co-précipitation) dans la géosphère.
- Long délai de resaturation du dépôt et de son environnement immédiat, qui retarde le déclenchement des processus de corrosion et de dissolution (dont l'importance sera probablement négligeable en ce qui concerne le combustible usé ou les déchets de haute activité, sauf dans le cas d'une rupture précoce du colis).
- Relâchement différé des radionucléides imputable à la faible vitesse de corrosion des matières métalliques moyennement radioactives (par exemple coques et embouts), ainsi qu'à une période de confinement total dans des fûts d'acier moyennement radioactifs et des colis de stockage.
- Sorption irréversible des radionucléides dans le champ proche ou dans la géosphère (par exemple minéralisation en surface).
- Dégazage du $^{14}\text{CH}_4$ volatil dans la biosphère.

Autres FEP traités de manière conservative

- Une période de confinement total procurée par le gainage en Zircaloy du combustible usé, après la rupture du colis (délibérément omise dans tous les cas).
- Les conditions dans lesquelles se produira la défaillance mécanique des colis corrodés (le moment de la rupture, 10^4 années, retenue dans le cas de référence, est une hypothèse exagérément pessimiste).
- L'étalement dans le temps des relâchements de radionucléides, du fait que les colis de combustible usé et de déchets de haute activité ne lâcheront pas simultanément (on suppose par prudence que la totalité des colis se fissureront simultanément, excepté dans les cas prenant en compte des défauts d'origine dans le modèle de colis en cuivre ou en acier).

- La résistance au transport assurée par les espaces internes (fissures) à l'intérieur de formes de déchets, par les colis de combustible usé/déchets de haute activité fissurés et par les produits de corrosion (délibérément négligée dans tous les cas).
- L'étalement dans l'espace et dans le temps des relâchements de radionucléides en raison de l'extension latérale du dépôt et du caractère tridimensionnel du transport par diffusion (les cheminements de transport du dépôt à la biosphère sont censés être linéaires et de longueur égale dans tous les cas).
- L'efficacité de la barrière représentée par les aquifères régionaux (délibérément négligée dans tous les cas).

4. BASE DE L'ÉVALUATION

4.1 Éléments de la base de l'évaluation

La base de l'évaluation est l'ensemble des informations et des outils d'analyse destinés à l'évaluation de la sûreté. Elle comprend :

- la conception du système, c'est-à-dire la description du système de stockage, de ses composants et de leurs fonctions de sûreté selon la phase du processus de développement et de mise en œuvre ; les procédures de construction, d'exploitation, de suivi et de contrôle pour autant qu'elles aient une influence sur la faisabilité de la réalisation et la sûreté de la phase post-fermeture, ainsi que les procédures de gestion de la qualité pour faire en sorte que les caractéristiques requises des éléments ouvragés soient respectées ;
- les données et les interprétations scientifiques et techniques pertinentes pour l'évaluation de la sûreté ; et
- les méthodes d'évaluation, les modèles, les codes de calcul et les bases de données nécessaires pour analyser la performance du système.

La qualité et la fiabilité d'une évaluation de la sûreté sont tributaires de la qualité et de la fiabilité de la base de l'évaluation. Son examen et la présentation de l'argumentation à l'appui de la qualité et de la fiabilité de ses composants sont donc des éléments cruciaux de la présentation d'un dossier de sûreté.

4.2 Présentation de la base de l'évaluation et éléments à l'appui de sa qualité et de sa fiabilité

Les composants du système

Les composants du système qu'il convient de décrire sont la roche hôte et son environnement géologique immédiat, le site de surface, l'inventaire des déchets, les barrières ouvragées et toute caractéristique de l'architecture ou de la conception du dépôt ayant des incidences sur la sûreté après la fermeture, par exemple la disposition des scellements.

Cette description devrait systématiquement contenir :

- les caractéristiques géométriques et les constituants ;
- les fonctions de sûreté, par exemple, retard d'arrivée d'eau et de dégradation du colis déchets ou maintien d'un environnement chimique favorable ; et
- une description générale de l'évolution et de la performance attendues, c'est-à-dire, par exemple, la durée pendant laquelle le composant est censé remplir sa fonction.

Tout critère et toute contrainte de conception devraient aussi être mentionnés, comme par exemple la température maximale admissible à l'intérieur de la zone tampon.

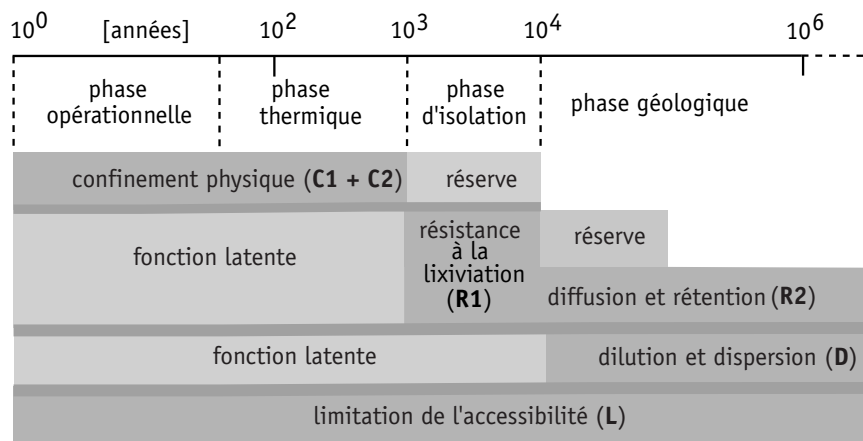
Dans la description des fonctions de sûreté, l'évolution de leur rôle ou de leur fiabilité dépendra des périodes ou des échelles de temps. L'encadré 3 illustre ce type d'analyse tirée de l'étude SAFIR 2 réalisée par l'ONDRAF/NIRAS [17].

Par ailleurs, le système envisagé dans l'évaluation de la sûreté doit être faisable. La description devra donc également inclure :

- les procédures de caractérisation du site qui ont été ou qui seront suivies pour vérifier les caractéristiques de l'environnement géologique prises en compte dans l'évaluation de la sûreté ;
- l'ensemble des procédures de gestion de la qualité et des critères d'acceptation des déchets de manière à s'assurer que les caractéristiques requises des composants ouvragés, notamment la forme des déchets proprement dite sont respectées ; et
- une évaluation de la faisabilité de la réalisation effective (c'est-à-dire construction, exploitation et fermeture) de l'installation sur le site retenu.

Encadré 3 : Fonctions de sûreté définies dans l'étude SAFIR 2 et cadres temporels ou phases pendant lesquelles elles sont censées jouer leur rôle [17]

NOTE : il s'agit d'exemples tirés d'un dossier de sûreté spécifique qui ne sont pas nécessairement transposables à d'autres systèmes, voire à des systèmes analogues dans des cadres différents



Une **fonction latente** entre en jeu uniquement en cas de défaillance d'autres fonctions de sûreté. Une fonction de **réserve** est une fonction qui peut augmenter la sûreté, mais sur laquelle on ne peut pas se reposer avec confiance dans le cadre temporel indiqué, en raison des incertitudes qui l'accompagnent.

Confinement physique (C) : isolation des radionucléides de leur environnement immédiat, en premier lieu l'eau, obtenue grâce à :

- l'étanchéité à l'eau (C1) : principalement liée aux barrières ouvragées ; et
- la limitation de l'entrée d'eau (C2) : principalement liée à la barrière naturelle, mais aussi à la capacité de certaines barrières ouvragées de ralentir les infiltrations d'eau.

Retard et étalement du relâchement (R) : à la suite, où en cas de, défaillance du confinement physique, cette seconde fonction ralentit et étale la migration des radionucléides vers la biosphère pendant la durée la plus longue possible, elle est obtenue grâce à :

- la résistance à la lixiviation (R1) : le système empêche le relâchement des radionucléides de la matrice dans laquelle ils sont confinés (étalement du relâchement dans le temps) ; et

- la diffusion et la rétention (R2) : le système retient les radionucléides après le relâchement de leurs matrices (sur place dans le système de barrière ouvragée et également dans la géosphère proche).

Dilution et dispersion (D) : à long terme, ces phénomènes (associés à l'interface plus lointaine entre la géosphère et la biosphère) assurent que les radionucléides seront dilués et dispersés par les circulations d'eau souterraine dans la géosphère et d'eau superficielle dans la biosphère.

Limitation de l'accès (L) : l'objectif de cette fonction est d'empêcher une intrusion délibérée ou involontaire dans le dépôt, ou d'en limiter la probabilité et les conséquences (ainsi que les processus naturels à long terme comme l'érosion).

Les trois premières fonctions de sûreté et les processus naturels se succèdent (avec des chevauchements) tout au long de l'évolution du système de stockage, alors que la quatrième est censée remplir son rôle de façon indépendante et permanente. En outre, la **décroissance radioactive** contribue favorablement à la sûreté car elle se traduit par une réduction de la radiotoxicité et partant du risque, au fil du temps.

De nombreux organismes de gestion des déchets ont des programmes mettant en jeu des laboratoires de recherche en surface et souterrains dont l'objectif est de démontrer expérimentalement la faisabilité de la mise en œuvre d'un système de stockage donné avec les technologies disponibles sur le moment ou rapidement utilisables.

On peut distinguer au moins deux grandes catégories de laboratoires de recherche souterrains [15] :

- « les installations destinées à des recherches et d'expérimentations sur un site et que l'on appellera ici laboratoires de recherches génériques ou laboratoires méthodologiques qui ne servira pas à stocker des déchets mais à fournir des informations exploitables pour d'autres installations de stockage » ; et
- « les installations aménagées sur un site considéré comme un site potentiel de stockage des déchets et qui en fait, peuvent constituer une première étape pour le développement d'un stockage sur le site ; nous les appellerons ici laboratoires de recherches souterrains spécifiques à un site ».

La majorité des pays membres de l'AEN estiment en outre que la création de laboratoires souterrains revêt des avantages qui vont au-delà de ceux liés à la recherche, au développement et à la démonstration de technologies. En particulier, ouvrir les laboratoires souterrains aux différents acteurs intéressés est de nature à accroître la confiance dans le projet de stockage notamment en montrant que les déclarations et les explications scientifiques figurant dans le dossier de sûreté s'appuient sur des données physiques concrètes.

Données et déclarations scientifiques et techniques

La présentation des données et des interprétations scientifiques d'un dossier de sûreté, devrait mettre en relief les éléments qui montrent que la base d'information est cohérente, solidement fondée et adaptée aux fins de l'évaluation de la sûreté. Dans la mesure du possible, il faudrait chiffrer et borner toutes les incertitudes pertinentes et expliquer leur évolution dans le temps. Les caractéristiques, événements et processus (FEPs) attendus qui sont potentiellement importants pour la sûreté du système, de même que ceux qui ne sont pas attendus mais demeurent plausibles, devraient être pris en compte.

Quant à la qualité et à la fiabilité des interprétations et des données scientifiques et techniques, il devrait ressortir de la présentation que :

- des programmes exhaustifs de recherche et d'étude *in situ* ont été mis en œuvre ;
- diverses sources d'information (et méthodes d'acquisition) ont été réunies pour dresser un tableau cohérent des caractéristiques et de l'histoire d'un site, à partir duquel des prévisions fiables de son évolution future peuvent être élaborées – ces prévisions peuvent intégrer la formulation de plusieurs scénarios et modèles différents et s'appuyer sur des analogues naturels et des données paléohydro-géologiques judicieusement choisis ; et
- tant les recherches que les autres sources d'information doivent être décrites dans une documentation convenablement tracée qui présente l'ensemble des données et fournit des exemples clairs et compréhensibles de leur utilisation, dans le cadre d'un système de contrôle qualité destiné à assurer la fiabilité des données et de leur application.

Un système de contrôle de la qualité des données est utile pour la réalisation d'audits et garantit que les modifications apportées dans toute donnée employée dans une analyse de la sûreté sont justifiées, par exemple lorsque de nouvelles données plus probantes deviennent disponibles. Il explique

également comment sont résolues et traitées les données potentiellement contradictoires.

Méthodes d'évaluation, modèles, codes informatiques et bases de données

Les méthodes d'évaluation, les modèles, les codes informatiques et les bases de données doivent être présentés de façon claire et logique. Leur fiabilité doit s'appuyer sur les arguments suivants :

- l'approche est logique, claire et systématique ;
- l'évaluation est menée dans un cadre se prêtant à une vérification ;
- l'approche a été améliorée en permanence grâce à un processus itératif ;
- l'approche a fait l'objet d'un examen par les pairs ;
- une communication véritable est intervenue entre les personnes engagées dans les programmes de recherche et d'étude des sites et les responsables de l'évaluation de la sûreté pour s'assurer que ces derniers soient immédiatement informés au fur et à mesure de la disponibilité de toutes les informations ;
- des analyses de sensibilité ont été réalisées pour s'assurer que les scénarios et les cas de calculs intègrent les principales incertitudes ayant une incidence sur la performance du système de stockage ;
- des critères appropriés ont été mis au point concernant l'exclusion ou l'inclusion de caractéristiques, événements et processus (FEPs) des scénarios d'évaluation ;
- les caractéristiques, événements et processus (FEPs) à prendre en compte dans l'évaluation sont comparés à des listes internationales de FEP [18] ;
- les éléments justificatifs validant le choix des scénarios, des modèles et des données proviennent d'un large éventail de sources incluant les études *in situ*, en laboratoires ou théoriques et si possible, un argumentaire peut être avancé pour étayer le choix de ces scénarios, des hypothèses de modélisation et des valeurs des paramètres particuliers ;

- les modèles mathématiques sont fondés sur des principes physiques et chimiques bien établis, ou sur des relations empiriques ayant une base expérimentale qui justifient leur applicabilité dans les conditions (par exemple, échelles d'espace et de temps) requises pour l'évaluation ;
- les codes informatiques sont élaborés dans le cadre d'une procédure d'assurance qualité et vérifiés, par exemple par comparaison avec des solutions analytiques et des codes différents ; le recours à la simulation d'expériences et d'environnements naturels renforce la confiance ;
- une stratégie claire et des méthodes existent pour gérer les incertitudes (voir chapitre 3).

5. ÉLÉMENTS DE PREUVE, ANALYSES ET ARGUMENTS ET LEUR SYNTHÈSE DANS UN DOSSIER DE SÛRETÉ

5.1 Types d'éléments de preuve, d'arguments et d'analyses

Dans la plupart des réglementations nationales, les critères de sûreté sont exprimés en termes de dose et/ou de risque. Pour un éventail de scénarios d'évolution des systèmes, l'évaluation de ces indicateurs, au moyen d'analyses mathématiques ou d'arguments plus qualitatifs, occupe généralement une place de premier plan dans les dossiers de sûreté destinés à un examen réglementaire. Il existe cependant des types d'éléments de preuve et des arguments complémentaires qui peuvent augmenter la robustesse du dossier de sûreté. Il s'agit des éléments suivants :

Données générales confirmant le bien fondé du stockage géologique comme solution possible pour la gestion des déchets

Un dossier de sûreté sera généralement axé sur des éléments de preuve, des analyses et des arguments propres à un site et à un concept particuliers. Cependant, on pourra introduire dans un dossier de sûreté des données plus générales mettant en évidence le bien fondé du stockage géologique comme solution possible pour la gestion des déchets et faire valoir qu'il est prudent d'opter pour cette solution selon un calendrier approprié. On trouvera dans l'encadré 4 des exemples de données et d'arguments de cette nature. Il ne s'agit pas en l'occurrence d'étudier des solutions de remplacement au stockage géologique, mais plutôt de montrer que le stockage géologique dans un dépôt convenablement situé et conçu est une stratégie judicieuse.

Éléments de preuves relatifs à la qualité intrinsèque du site et de la conception

La sûreté de tout dépôt dépend en premier lieu des caractéristiques favorables ou des propriétés intrinsèques de la roche hôte dans son environnement géologique et du système de barrières ouvragées. La robustesse et la faisabilité à long terme, entre autres, sont des éléments de poids. Il importe

d'insister sur ces caractéristiques dans tout dossier de sûreté. Les principes qui étayent la robustesse et la faisabilité d'un dépôt et de son environnement sont décrits dans le chapitre 3 dans le cadre de la stratégie concernant le choix du site et de la conception. La qualité intrinsèque d'un site et d'une conception déterminés peuvent être argumentés en indiquant, preuves à l'appui, comment le site et la conception respectent ces principes. Ainsi, il est souvent possible d'obtenir des données convaincantes sur la stabilité et sur d'autres caractéristiques favorables de la roche hôte et de l'environnement géologique à partir d'observations et de mesures *in situ*. Un certain nombre d'exemples d'arguments est présenté dans l'encadré 5.

Indicateurs de sûreté complémentaires à la dose et au risque

On peut avoir recours à des indicateurs de sûreté complémentaires pour étayer l'affirmation que tout relâchement de radionucléides vers l'environnement de surface n'aurait que peu de conséquences. Par exemple, le taux de relâchement de radioactivité vers l'environnement de surface fournit un indicateur de sûreté que l'on peut comparer avec les flux de radioactivité d'origine naturelle [19]. La toxicité radiologique des déchets constitue un indicateur de sûreté utilisable pour comparer les dangers des déchets à ceux de sites uranifères naturels et la répartition des radionucléides dans le temps peut montrer que la majorité demeure confinée ou se désintègre à l'intérieur du dépôt et dans son environnement immédiat. Le choix des indicateurs est largement subordonné au contexte de chaque programme national.

Arguments confirmant le bien-fondé de la stratégie retenue pour gérer les incertitudes et les questions en suspens

Certaines incertitudes peuvent être sans objet pour la décision en jeu. Par exemple, les incertitudes relatives au régime alimentaire humain dans un avenir lointain peut ne revêtir qu'un intérêt limité. Il existe aussi des incertitudes concernant la relation entre la dose de rayonnement et le risque de cancer. Cependant, cette question n'est pas pertinente pour décider si le risque radiologique évalué au moyen de cette relation respecte un objectif de risque réglementaire, car l'objectif en question correspond à un risque radiologique admissible actuellement, dont la définition prend déjà en compte l'incertitude dans la relation dose-risque [11]. L'évaluation de sûreté peut mettre en lumière d'autres incertitudes qui sont sans effet sur la sûreté. Toutefois, il faudrait que le dossier de sûreté montre que toutes les incertitudes susceptibles de mettre en péril la sûreté ainsi que les questions en suspens concernant, par exemple, différents concepts envisageables, peuvent être traitées de façon satisfaisante dans les étapes suivantes du projet grâce à un programme de recherche et une stratégie de gestion appropriés (chapitre 4).

Encadré 4 : Exemples de données générales confirmant le bien fondé du stockage géologique comme solution possible pour la gestion des déchets (adapté de [13])

- **L'existence de formations rocheuses appropriées** – Il existe dans de nombreuses régions du monde des formations rocheuses profondes dans lesquelles les phénomènes et les processus susceptibles de transporter les radionucléides jusqu'à l'environnement de surface sont, soit absents, soit extrêmement rares ou lents.
- **Observation des systèmes naturels** – On peut tirer de l'observation des systèmes naturels des arguments indirects confirmant la possibilité d'un stockage géologique sûr, par exemple la pérennité des sites uranifères dans nombre d'environnements géologiques différents de par le monde. De nombreuses preuves de l'importance des phénomènes naturels de régulation de la solubilité, de la sorption et de la diffusion dans la limitation des concentrations d'espèces dissoutes dans l'eau interstitielle. Les analogues archéologiques peuvent aussi aider à évaluer les interactions spécifiques entre matériaux et phénomènes naturels pertinents.
- **Comparaison des caractéristiques des installations de surface par rapport au stockage géologique** – Il est possible d'entreposer des déchets radioactifs pendant une période limitée dans des installations de surface. Toutefois, la sûreté de ces installations dépend du maintien de la stabilité des sociétés humaines, qui est assorti d'incertitudes beaucoup plus grandes que celles associées à l'évolution des conditions à l'intérieur des formations géologiques souterraines profondes susceptibles de recevoir un dépôt. Du point de vue de la gestion des déchets à long terme, le stockage dans des formations géologiques profondes présente l'avantage que, sous réserve que le site et le concept aient été judicieusement choisis, la stabilité de la société, qui conditionne le contrôle gouvernemental et réglementaire, n'est pas un préalable à la sûreté à long terme. Aucune obligation de maintenir et de surveiller un site de stockage n'échoit aux futures générations une fois l'installation fermée. Bien qu'un tel contrôle demeure possible et ne soit pas découragé, il ne devrait pas être nécessaire pour assurer la sûreté.

En général, tout argument en faveur de la sûreté repose sur un certain nombre de déclarations qui doivent elles-mêmes s'appuyer sur des éléments de preuve. Par exemple, on simule des scénarios d'évolution du dépôt et de son

environnement, ainsi que les fonctions qu'ils assurent et leurs conséquences radiologiques au moyen de modèles quantitatifs, pour tester la conformité avec les critères de sûreté réglementaires. La validité de cette conformité doit être étayée par des preuves de la fiabilité des analyses et une gestion appropriée des incertitudes. Elle doit donc être assortie d'un examen détaillé :

- de la gestion des incertitudes dans l'évaluation de la sûreté (chapitre 3) ;
- de la qualité et de la fiabilité des travaux scientifiques et des études constituant la base de l'évaluation, y compris l'élaboration de scénarios, l'adéquation de la gamme des scénarios envisagés, leur probabilité, et le bien-fondé ou la qualité des méthodes, modèles, codes de calcul et bases de données employés pour les analyser (chapitre 4) ; et
- des prescriptions en matière de gestion de la qualité pour l'exécution des calculs d'évaluation de la sûreté.

Compte tenu de l'utilisation de valeurs de paramètres pessimistes et d'hypothèses prudentes, il est vraisemblable que la performance du dépôt sera meilleure que ne l'indiquent les analyses. La prudence observée dans les analyses constitue un argument qualitatif supplémentaire en faveur de la sûreté, bien qu'une telle attitude puisse également être perçue comme la manifestation d'un manque de connaissances et à ce titre puisse altérer la confiance. La prudence s'impose et est de loin préférable à l'optimisme, mais elle doit être employée et gérée de façon judicieuse.

Encadré 5 : Exemples d'éléments de preuve susceptibles d'être utilisés pour étayer les arguments en faveur de la robustesse et d'autres caractéristiques favorables du dépôt et de son environnement, s'il y a lieu [16]	
Types d'arguments	Exemples d'applications
Existence de dépôts naturels d'uranium et d'autres analogues naturels d'un système de dépôt et d'un ou plusieurs de ses composants	Stabilité à long terme de la formation, bentonite, utilisée comme matériau tampon dans de nombreuses conceptions de dépôt (également la faisabilité de principe du stockage en formations géologiques)
Arguments d'ordre thermodynamique	Stabilité du cuivre, qui est utilisé pour le colis dans certaines conceptions, dans des eaux souterraines profondes

Arguments d'ordre cinétique	Vitesse de corrosion du fer, qui est également utilisé pour fabriquer les colis dans certaines conceptions
Arguments relatifs au bilan massique (montrant qu'il n'existe qu'une quantité limitée d'éléments susceptibles de réagir d'où une limitation de l'ampleur de la réaction dommageable)	Altérations chimiques limitées (illitisation) de la bentonite ; corrosion lente du cuivre
Profils des isotopes naturels dans certaines roches argileuses, âge des eaux souterraines et informations paléohydrogéologiques en général	Circulation lente des eaux souterraines et stabilité à long terme de la géosphère
Extrapolation à long terme d'expériences et d'observations de courte durée	Phénomènes de corrosion ; décroissance radioactive
Etudes de modélisation détaillées	Lenteur de la circulation des eaux souterraines et du transport des radionucléides ; faible probabilité et conséquences limitées des séismes

5.2 Priorité accordée à différentes lignes de raisonnement, arguments et analyses lors de la présentation d'un dossier de sûreté

En général, un dossier de sûreté comprendra l'ensemble des différentes lignes de raisonnement, des arguments et des analyses disponibles pour corroborer la qualité et la performance du système de stockage à une étape donnée de la planification et de la mise en œuvre d'un dépôt, comme cela a été décrit dans les chapitres précédents. Toute ligne de raisonnement qui ne conforte pas le dossier de sûreté doit être débattue et analysée. Toutefois, l'importance accordée à différentes lignes de raisonnement et analyses lors de la présentation d'un dossier de sûreté peut varier en fonction des éléments suivants :

- les préoccupations et les besoins de l'auditoire visé, voir chapitre 2 ;
- l'échelle de temps dans laquelle s'inscrit l'examen de la sûreté et l'évolution des dangers avec le temps ;
- le stade de développement du projet et le niveau de confiance associé à la performance des différents aspects du système ; et
- l'évolution attendue du système, et les incertitudes qui lui sont associées, et leurs répercussions sur la performance.

Globalement, un dossier de sûreté doit optimiser les arguments en faveur de la sûreté qui sont disponibles et qui peuvent varier selon les projets et au fur et à mesure de leur avancement.

Dans la présentation d'un dossier de sûreté, l'accent est mis sur les fonctions de sûreté qui devraient être les plus efficaces et pour lesquelles on dispose des arguments jugés les plus convaincants à n'importe quel moment de l'évolution du dépôt et de son environnement. Il ne faut pas hésiter à admettre les faiblesses dans l'argumentaire et les replacer dans un contexte de sûreté globale. Par exemple, au départ les colis assureront un confinement total des déchets et les arguments relatifs à la sûreté peuvent insister sur les données corroborant l'intégrité des colis pendant une certaine durée. Toutefois, quand il s'agira d'expliquer sur quoi repose cette confiance, il faudra examiner les processus et les événements susceptibles de détériorer cette fonction de confinement. Passé un certain délai, la confiance dans le confinement total n'est plus assurée, il faut donc produire des arguments fondés, par exemple, sur la stabilité des formes de déchets, l'immobilisation géochimique et la faible circulation des eaux souterraines ainsi que la stabilité de l'environnement géologique pour montrer que les relâchements vers l'environnement humain demeurent limités, même si l'on tient compte des incertitudes dans les données et les modèles. À un horizon encore plus lointain, lorsque la stabilité de l'environnement géologique devient problématique, il est probable que les arguments mettant en avant la décroissance radioactive et la baisse concomitante des dangers potentiels des déchets devraient tenir une place plus importante. Bien qu'une évaluation de la dose ou du risque puisse encore être requise par la réglementation, une évaluation moins rigoureuse de ces indicateurs pourrait bien être acceptable compte tenu de cette diminution des dangers potentiels à des horizons extrêmement lointains.

Dans certaines évaluations de sûreté, et dans certaines réglementations, des périodes discrètes ou des « périodes de temps » sont définies pour lesquelles l'exploitant dispose d'une panoplie d'argumentations différentes ou dans lesquelles il convient de moduler la place ou le poids des arguments avancés. Les périodes de temps peuvent constituer un cadre utile pour les débats internes entre les experts au sein d'une organisation chargée de la mise en œuvre, entre les exploitants et les autorités de sûreté et entre les exploitants, les autorités de sûreté et le public [14, 16].

5.3 Synthèse des éléments de preuves, analyses et arguments et déclaration de confiance

En général, un dossier de sûreté conclura que la confiance dans la possibilité de réaliser un dépôt sûr est suffisante pour justifier l'autorisation de

passer à l'étape suivante. Il s'agit d'une *déclaration de confiance* de la part de l'auteur du dossier de sûreté fondée sur les analyses et les arguments développés et les éléments de preuves rassemblés. Si les éléments de preuve, les arguments et les analyses ne suscitent pas chez l'exploitant une confiance suffisante pour étayer une décision positive, on pourrait alors être amené à revoir l'évaluation (mieux rassembler les informations disponibles dans la phase de l'évaluation), à modifier la base de l'évaluation, à revoir la conception, voire à reconsidérer le site lui-même, avant de présenter un dossier de sûreté en vue d'une décision.

Le dossier de sûreté est un élément fondamental pour la prise de décision et il doit être soumis aux décideurs pour examen et révision. La déclaration de confiance ne saurait préjuger de la confiance des destinataires, qui peuvent comprendre l'autorité réglementaire, le grand public ou d'autres parties prenantes. Il appartiendra aux destinataires de déterminer eux-mêmes s'ils jugent adéquat et complet le raisonnement qui leur est présenté et s'ils partagent la confiance de l'auteur. Cependant, la confiance de l'auditoire dans les conclusions d'un dossier de sûreté peut être facilitée par une présentation transparente et convaincante des principaux arguments et par une divulgation complète, et la soumission de l'ensemble des résultats pertinents à des procédures d'assurance qualité (AQ) et de revue (voir chapitre 2).

Par conséquent, une synthèse des éléments de preuves, arguments et analyses disponibles doit être effectuée. Il faudrait que cette synthèse montre comment a été pris en compte l'ensemble des données et des informations pertinentes, que tous les modèles ont été correctement vérifiés et qu'une procédure d'évaluation rationnelle ait été suivie. Elle devrait également analyser les limites des éléments de preuves, arguments et analyses disponibles au moment de la constitution du dossier de sûreté et mettre en relief les principales raisons sur lesquelles l'auteur du dossier s'est appuyé pour estimer que le développement et la mise en œuvre du système de stockage devaient néanmoins se poursuivre. Parmi ces justifications, devra figurer la stratégie qui sera appliquée pour prendre en compte et gérer toutes les questions et incertitudes en suspens susceptibles de compromettre la sûreté (voir chapitre 3). Dans les premières phases d'un programme, ces questions et incertitudes en suspens peuvent être nombreuses et le dossier de sûreté devra exposer clairement l'opinion de l'exploitant sur la résolution de ces problèmes dans les étapes suivantes.

Plus avant dans un programme, et assurément au moment de la présentation du dossier de sûreté à l'appui d'une demande d'autorisation, il faudra que les incertitudes et les questions en suspens susceptibles de compromettre la sûreté aient été prises en compte d'une façon appropriée pour la décision en jeu et se traduire dans la déclaration de confiance. Certaines

incertitudes ne pourront pas être levées (par exemple, une roche hôte ne peut jamais être totalement caractérisée sans perturber ses propriétés favorables), mais il faudrait que le dossier de sûreté indique les raisons pour lesquelles ces incertitudes ne compromettent pas les arguments fondamentaux à l'appui de la sûreté.

6. REMARQUES CONCLUSIVES

Stockage et sûreté à long terme

Le dépôt des déchets radioactifs à vie longue dans des structures ouvragées, implantés à grande profondeur dans des formations géologiques appropriées, fait l'objet d'études approfondies dans le monde entier dans le but de protéger l'homme et l'environnement, aujourd'hui et dans le futur. Un dépôt est réputé sûr, d'un point de vue technique, s'il respecte les règles de sûreté applicables, telles qu'elles sont préconisées à l'échelon international ou fixées par l'autorité nationale réglementaire compétente. L'AEN traite de ces questions depuis plus de deux décennies [20].

Le processus consistant à analyser la performance d'un dépôt et à montrer, avec un degré de confiance suffisant, qu'il demeurera sûr pendant une période prolongée pouvant dépasser la durée pendant laquelle une surveillance active de l'installation peut être assurée est appelé évaluation de la sûreté en phase post-fermeture. Ces dernières années, le champ de l'évaluation de la sûreté s'est élargi et rassemble désormais un large éventail d'éléments de preuves et d'arguments qui complètent et étayent la fiabilité des résultats des analyses quantitatives. La formulation plus générale « dossier de sûreté post-fermeture », ou simplement « dossier de sûreté » est utilisée pour évoquer ces études.

La nécessité de développer un dossier de sûreté pour le long terme d'un dépôt de déchets radioactif de haute activité et à vie longue en formation géologique profonde est aussi établie dans le document « Safety Requirements for Geological Disposal » de l'Agence internationale de l'énergie atomique et de l'Agence pour l'énergie nucléaire [publication attendue fin 2004]. Cette brochure complète les définitions et les spécifications au niveau international.

Rôles clés d'un dossier de sûreté

Le développement d'un dépôt géologique comprendra plusieurs étapes ponctuées par des prises de décisions interdépendantes concernant le passage ou non d'une étape à une autre. Ces décisions requièrent une présentation claire et tracée des arguments techniques qui assoient la confiance dans la faisabilité et la

sûreté d'un concept proposé. Les connaissances scientifiques et les informations techniques qui supporteront les décisions vont accroître au fur et à mesure de l'avancée dans le processus par étapes. Le dossier de sûreté qui évolue étape par étape en intégrant l'état de ces connaissances, est donc un élément déterminant dans l'établissement de la confiance et la prise de décision pour passer d'une étape à une autre dans le développement d'un dépôt. À chaque étape de la prise de décision, le dossier de sûreté peut servir de plateforme aux dialogues entre les parties prenantes concernées.

La gestion des incertitudes à l'intérieur du processus d'évaluation de la sûreté, ainsi que les analyses de performance de l'ensemble du système et de ses composants, fournit à l'exploitant un support à la prise de décisions, telle que l'optimisation d'un concept, la répartition des ressources sur la caractérisation d'un site ou sur la mise en œuvre. Le dossier de sûreté reflète l'état de connaissances et les résultats obtenus en matière de mise en œuvre à une étape donnée et supporte les décisions sur les efforts à fournir dans le futur en matière de mise en œuvre. Sa préparation ainsi que ses révisions successives aideront les exploitants et les autorités réglementaires à se focaliser sur les activités et sur les objectifs de projet nécessaires pour l'étape concernée. Le besoin d'intégration des diverses activités de mises en œuvre de dépôts favorisera le dialogue entre les multiples personnes impliquées dans les activités du projet, telles que la modélisation et la caractérisation du site.

La spécificité d'un dossier de sûreté post-fermeture

Constituer un dossier de sûreté post-fermeture est une tâche difficile qui se distingue par certains aspects clés de la démonstration de la sûreté avant sa fermeture, ainsi que de la sûreté opérationnelle dans d'autres types d'installations nucléaires. Ces différences tiennent en particulier aux possibilités limitées de surveillance active et d'interventions correctrices après la fermeture, et aux incertitudes, notamment celles liées aux longues échelles de temps auxquelles s'applique l'évaluation de la sûreté après la fermeture.

Pendant la période d'exploitation, les dépôts seront réglementés conformément aux règles et critères de sûreté appliqués pour assurer la sécurité des travailleurs et des membres du public et la sécurité des déchets. Il existe des précédents pour la plupart des opérations et des processus nécessaires pour veiller à ce que ces normes et ces critères soient respectés. En outre, une solide expérience a été accumulée dans l'élaboration et la présentation de dossiers de sûreté pour une variété d'installations nucléaires en exploitation. À l'instar des autres types d'installations nucléaires, les dépôts peuvent être surveillés pendant leur période de construction, d'exploitation et toute perturbation du comportement peut être évaluée pour comprendre son importance vis-à-vis de la

sûreté post-fermeture. Une surveillance et des contrôles pourraient également être effectués après la fermeture définitive, mais la poursuite à long terme de telles mesures volontaires ne devrait pas être indispensable, conformément à l'objectif de sûreté passive.

Vu les échelles de temps et d'espace à prendre en compte dans une évaluation de la sûreté, les incertitudes (ou des lacunes dans les connaissances) sont inévitables concernant les caractéristiques et l'évolution du dépôt et de son environnement immédiat. Toutefois, toute entreprise humaine est entachée d'incertitudes et toute prise de décision doit prendre en compte cette réalité. Certaines incertitudes peuvent être évitées ou leurs effets atténués, par exemple par le choix d'un environnement géologique approprié. D'autres sont traitées dans le processus de planification du dépôt par le biais de la caractérisation du site, l'optimisation de la conception, des tests de conformités et de la surveillance. Il faut démontrer que les incertitudes qui demeurent ne compromettent pas la sûreté. La gestion des incertitudes tout au long d'un projet et la constitution d'un dossier de sûreté permettant une prise de décision malgré les incertitudes sont des questions fondamentales qui ont été examinées dans les sections précédentes du présent rapport.

Le développement d'un dossier de sûreté post-fermeture constitue un défi en matière de gestion

Réussir un dossier de sûreté que cela soit pour la phase d'exploitation que pour le long terme est un défi en terme de gestion. Afin d'asseoir suffisamment la confiance dans la sûreté, il est nécessaire d'avoir les bons experts et les compétences disponibles de manière à ce que la documentation qui supportera le dossier de sûreté soit robuste, claire et tracée. Ceci permettra d'augmenter la confiance dans le dossier et donc de passer d'une étape à une autre à l'intérieur du processus de décisions.

En outre, le retour d'expérience d'une évaluation de sûreté est crucial pour la qualité et l'efficacité du processus séquentiel de développement d'un dépôt, et notamment pour l'élaboration du concept et la caractérisation du site. Ceci suppose une planification et des procédures appropriées à chaque étape pertinente d'un projet. Par conséquent, l'évaluation de sûreté et l'élaboration d'un dossier de sûreté constituent un processus dont la définition, le financement et le déroulement doivent s'inscrire dans le cadre global du programme de gestion du dépôt.

La documentation d'un dossier de sûreté

Il n'existe ni format ni plan universel pour un dossier de sûreté. Il existe un consensus que la documentation devrait inclure une présentation claire du concept de sûreté. Un rapport de synthèse qui minimise les détails techniques, et en complément de la documentation technique, serait aussi souhaitable pour répondre aux besoins d'un auditoire moins initié.

Une question importante concerne la manière dont sont prises en compte les nouvelles informations apparaissant après la présentation d'un dossier de sûreté. De ce fait, le dossier de sûreté devra mettre en exergue la nature et la planification du travail futur et décrire comment les nouveaux résultats seront évalués en terme de confirmation des évaluations qu'il présente.

La construction de la confiance à travers les revues d'experts

Les échanges d'informations et les revues d'experts au niveau international peuvent jouer un rôle primordial pour asseoir la crédibilité d'un dossier de sûreté. Les revues internationales récentes ont fourni des guides pour la mise en œuvre de dépôts. Il est clairement prouvé aux vues des réponses fournies par les organisations qui ont fait l'objet de revues que des examens d'autres natures comme celles organisées par les autorités réglementaires nationales sont nécessaires et utiles. Dans certains pays, des comités de conseil sont mis en place pour effectuer un contrôle en continu du projet et sur le long terme.

Considérations sociétales dans la prise de décision

Bien que la sûreté soit primordiale dans tout projet de dépôt, les décisions concernant la gestion des déchets radioactifs et l'aménagement d'installations de stockage géologique seront prises en tenant compte de considérations économiques, sociales et politiques. L'acceptabilité du stockage géologique et le processus de prise de décision sociopolitique ne sont pas discutés dans le présent rapport même si l'impact de la nécessité d'emporter l'adhésion et de toucher un public vaste sur la présentation du dossier de sûreté ait été évoqué. En effet, on peut espérer qu'un exposé clair, lisible et techniquement correct du dossier de sûreté influencera favorablement l'opinion du public et du monde politique à l'égard d'un projet de dépôt. Apprendre et s'adapter aux besoins de la société constituent un défi important pour tous les programmes de gestion de déchets radioactifs [21].

Engagement continuuel de la communauté technique

Le dossier de sûreté est un problème de gestion et d'intégration d'informations techniques. Bien que l'on soit confiant dans le fait que les besoins en matière d'informations puissent être identifiés et que des méthodes ont été développées pour adresser et gérer les divers types d'incertitudes ; les organismes de gestion et réglementaires continuent de s'investir dans la recherche et la résolution des questions associées à l'évaluation et à la documentation de la sûreté d'un dépôt. Les forums internationaux tels que ceux organisés par l'AEN continueront de jouer un rôle important dans les échanges d'informations concernant le développement et la réglementation des dossiers de sûreté afin d'arriver à une convergence des points de vues et des expériences en matière de méthodes et processus à appliquer dans les différentes situations des programmes nationaux.

RÉFÉRENCES

- [1] Agence pour l'énergie nucléaire, *Évacuation géologique des déchets radioactifs – Bilan des dix dernières années*, OCDE, Paris, 1999.
- [2] Agence pour l'énergie nucléaire, *Où en est l'évacuation des déchets radioactifs en formations géologiques ? Une évaluation internationale des progrès récents*, OCDE, Paris, 1999.
- [3] Agence pour l'énergie nucléaire, *Fondements environnementaux et éthiques de l'évacuation géologique – Opinion collective du Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN*, OCDE, Paris, 1995.
- [4] Agence internationale de l'énergie atomique, « Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management », INFCIRC/546, IAEA, Vienna, 1997.
- [5] Agence pour l'énergie nucléaire, « Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories: Its Communication and Development », OCDE, Paris, 1999.
- [6] Agence internationale de l'énergie atomique et l'Agence pour l'énergie nucléaire « Geological Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series, Draft Safety Requirements DS154, (Status: Out for comment by Member States) », IAEA, Vienne, (publication prévue fin 2004).
- [7] Agence pour l'énergie nucléaire, « Stakeholder Confidence and Radioactive Waste Disposal, Workshop Proceedings », OCDE, Paris, 2000.
- [8] Agence pour l'énergie nucléaire et la Commission européenne, « Engineered Barrier Systems and the Safety of Deep Geological Repositories, State-of-the-art Report », EUR19964 EN, OCDE, Paris, 2000.
- [9] Agence internationale de l'énergie atomique, « International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115 », AIEA, Vienna, 1996.

- [10] Agence internationale de l'énergie atomique, « The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F », AIEA, Vienna, 1995.
- [11] International Commission on Radiological Protection, 1990 « Recommendations of the ICRP », ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford and New York, 1991.
- [12] International Commission on Radiological Protection, « Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste », ICRP Publication 77, Pergamon Press, Oxford and New York, 1997.
- [13] « Project Opalinus Clay: Main Safety Report. Demonstration of Disposal Feasibility for Spent Fuel, Vitrified High-level Waste and Long-lived Intermediate-level Waste (Entsorgungsnachweis) ». Nagra Technical Report NTB 02-05, Wettingen, Switzerland, 2002.
- [14] Agence pour l'énergie nucléaire, *Gestion des échelles de temps dans l'évaluation de sûreté en phase post-fermeture – Enseignements tirés de l'atelier d'avril 2002 à Paris, France*, OCDE, Paris, 2004.
- [15] Agence pour l'énergie nucléaire, *La gestion des déchets radioactifs : le rôle des laboratoires souterrains*, OCDE, Paris, 2001.
- [16] Agence pour l'énergie nucléaire, « The Handling of Time Scales in Assessing Post-closure Safety of Deep Geological Repositories, Summary of the Workshop », April 2002, OCDE, Paris, 2003.
- [17] ONDRAF/NIRAS, « SAFIR 2, Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2 », NIROND 2001-06E, 2001.
- [18] Agence pour l'énergie nucléaire, « Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste: An International FEP Database », OCDE, Paris, 2000.
- [19] Commission européenne. « Testing of safety and performance indicators (SPIN) », EUR19965, 2003.
- [20] Agence pour l'énergie nucléaire, « Observations Regarding the Safety Case in Recent Assessment Studies, Topical Session proceedings », October 2003, NEA/RWM/IGSC (2004)3, (GD : distribution générale), OCDE, Paris, 2004.
- [21] Agence pour l'énergie nucléaire, « Learning and Adapting to Societal Requirements for Long-term Radioactive Waste Management », OCDE, Paris, (publication prévue fin 2004).

ÉGALEMENT DISPONIBLE

Publications de l'AEN d'intérêt général

AEN infos – ISSN 1605-9581 Abonnement annuel : € 43 US\$ 48 £ 28 ¥ 5 500

Énergie nucléaire aujourd'hui (L') (2003)

ISBN 92-64-20328-0 Prix : € 21 US\$ 24 £ 14 ¥ 2 700

Gestion des déchets radioactifs

Geological Disposal: Building Confidence Using Multiple Lines of Evidence (2004)

First AMIGO Workshop Proceedings, Yverdon-les-Bains, Switzerland, 3-5 June 2003

ISBN 92-64-01592-2 Prix: € 50 US\$ 63 £ 35 ¥ 6 400

Le contrôle réglementaire de la gestion des déchets radioactifs (2004) – Panorama de 15 pays membres de l'AEN, ISBN 92-64-10651-0

Prix: € 50 US\$ 63 £ 35 ¥ 6 400

Public Confidence in the Management of Radioactive Waste: The Canadian Context (2003)

Workshop Proceedings, Ottawa, Canada, 14-18 October 2002

ISBN 92-64-10396-1 Prix: € 45 US\$ 52 £ 30 ¥ 5 700

Engineered Barrier Systems (EBS) in the Context of the Entire Safety Case (2003)

Workshop Proceedings, Oxford, U.K., 25-27 September 2002

ISBN 92-64-10354-6 Prix: € 45 US\$ 52 £ 30 ¥ 5 700

Engineered Barrier Systems (EBS): Design Requirements and Constraints (2004) – Workshop Proceedings, Turku, Finland, 26-29 August 2003

ISBN 92-64-02068-3 Gratuit : versions papier ou web.

Gestion des échelles de temps dans l'évaluation de la sûreté en phase post-fermeture (2004)

Enseignements tirés de l'atelier d'avril 2002 à Paris, France

ISBN 92-64-02161-2 Gratuit : versions papier ou web.

Safety of Disposal of Spent Fuel, HLW and Long-lived ILW in Switzerland (2004)

An International Peer Review of the Post-closure Radiological Safety Assessment for Disposal in the Opalinus Clay of the Zürcher Weinland

ISBN 92-64-02064-0 Gratuit : versions papier ou web.

Features, Events and Processes Evaluation Catalogue for Argillaceous Media (2003)

ISBN 92-64-02148-5 Gratuit : versions papier ou web.

The Regulator's Evolving Role and Image in Radioactive Waste Management (2003)

Lessons Learnt Within the NEA Forum on Stakeholder Confidence

ISBN 92-64-02142-6 Gratuit : versions papier ou web.

The French R&D Programme in Deep Geological Disposal of Radioactive Waste (2003)

An International Peer Review of the "Dossier 2001 Argile"

ISBN 92-64-02136-1 Gratuit : versions papier ou web.

Public Information, Consultation and Involvement in Radioactive Waste Management (2003)

An International Overview of Approaches and Experiences

ISBN 92-64-02128-0 (Bilingual) Disponible sur le web.

Engineered Barrier Systems and the Safety of Deep Geological Repositories (2003) – State-of-the-art Report, ISBN 92-64-18498-8

Gratuit : versions papier ou web.

SAFIR 2: Belgian R&D Programme on the Deep Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste (2003) – An International Peer Review

ISBN 92-64-18499-6 Gratuit : versions papier ou web.

Bon de commande au dos.

BON DE COMMANDE

Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire
 12 boulevard des Iles
 F-92130 Issy-les-Moulineaux, France
 Tél. 33 (0)1 45 24 10 15, Fax 33 (0)1 45 24 11 10
 Mél : neapub@nea.fr, Internet : www.nea.fr

Qté	Titre	ISBN	Prix	Total
Total				

Paiement inclus (chèque ou mandat à l'ordre des Éditions de l'OCDE).

Débitez ma carte de crédit VISA American Express Mastercard

(Les frais postaux sont inclus dans les prix)

Numéro de carte	Date d'expiration	Signature
Nom		
Adresse	Pays	
Téléphone	Fax	
Mél		

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE