

Gestion des déchets radioactifs

ISBN 978-92-64-99121-7

**Réglementation et lignes directrices
pour l'évacuation des déchets radioactifs
en formation géologique**

Revue de la littérature et des initiatives
de la dernière décennie

© OCDE 2010
NEA n° 6406

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

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements de 30 démocraties œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, 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, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

L'AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1er 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.

Publié en anglais sous le titre :

Regulation and Guidance for the Geological Disposal of Radioactive Waste

Les corrigenda des publications de l'OCDE sont disponibles sur : www.oecd.org/editions/corrigenda.

© OCDE 2010

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à rights@oecd.org. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) info@copyright.com ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) contact@efcopies.com.

AVANT-PROPOS

Le Forum des régulateurs du Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC-RF) de l'AEN est une enceinte établie comprenant des représentants de haut niveau d'organismes réglementaires impliqués dans le contrôle de la gestion des déchets radioactifs et du démantèlement des installations nucléaires. Le RWMC-RF a été créé en 1998 et ses membres représentent actuellement les organismes réglementaires de 17 pays de l'OCDE. Le Forum des régulateurs fournit à ses membres l'occasion de discuter ouvertement et d'appréhender l'expérience des autres pays ainsi que les bonnes pratiques en matière de réglementation en vue d'affiner la réglementation dans les domaines concernés. Grâce à ses ateliers, le Forum fournit aussi l'occasion d'une interaction efficace entre les régulateurs, les exploitants, les spécialistes de R&D, les décideurs et les experts en sciences sociales au bénéfice de tous.

Dès sa création, le Forum des régulateurs a examiné la nature du système réglementaire de la gestion des déchets radioactifs et la manière d'exercer la fonction correspondante. Le Forum des régulateurs accorde un intérêt particulier aux critères de sûreté, aux aspects réglementaires liés à la réversibilité, à la démarche d'optimisation et à la surveillance à long terme des stockages géologiques ainsi qu'aux pratiques réglementaires qui se mettent en place dans le domaine du démantèlement. Pour ce qui concerne les rapports entre la réglementation et les aspects sociétaux, le Forum des régulateurs reconnaît l'importance d'un suivi de la réflexion dans le domaine des enjeux éthiques quant aux responsabilités des régulateurs envers les générations actuelles et futures, ainsi qu'aux attentes de la société concernant leur rôle. Des informations complémentaires sur le Forum des régulateurs du RWMC peuvent être obtenues sur le site internet de l'AEN (www.nea.fr/html/RWM/regulator-forum.html).

En janvier 1997, l'atelier de l'AEN organisé à Cordoue sur « La réglementation de la sûreté à long terme du stockage des déchets radioactifs » a constitué un rendez-vous important concernant les questions réglementaires dans le domaine du stockage géologique. Douze ans plus tard, à la suite de nombreux développements internationaux et nationaux, un nouveau bilan est en train de s'établir au niveau international sur les progrès réalisés à ce jour. Cette étude fournit une revue de la littérature spécialisée au cours de cette même période,

provenant de sources nationales et internationales. Elle prend aussi en compte la documentation disponible sur l'examen réglementaire des dossiers de sûreté relatifs au stockage géologique. L'étude identifie les principales questions débattues actuellement et permet de les replacer dans une perspective historique.

Remerciements

Cette étude a été rédigée par les collègues de l'institut de sûreté nucléaire GRS (Cologne, Allemagne), à la demande du Forum des régulateurs du Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN, qui l'a examinée et approuvée pour publication.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
1. Introduction	7
2. Développement des recommandations internationales	11
2.1 Développement des recommandations de la CIPR	11
2.2 Développement des standards de sûreté de l'AIEA	12
2.3 Développement dans le cadre de l'AEN	14
3. Critères de sûreté pour le stockage des déchets radioactifs.....	17
3.1 Critères de risque ou de dose pour la protection de l'homme	17
3.2 Protection de l'environnement	19
3.3 Échelles de temps.....	22
4. Orientations pour l'évaluation des performances.....	25
4.1 Le développement général de l'évaluation des performances/ dossier de sûreté.....	25
4.2 Autres aspects techniques, scientifiques et méthodologiques.....	28
5. La conduite du processus d'examen réglementaire.....	31
5.1 Le processus d'analyse technique	31
5.2 Aspects non-techniques et leur impact.....	33
6. Conclusions	35
7. Références	37

1. INTRODUCTION

En janvier 1997, l'atelier AEN [1] intitulé « La réglementation de la sûreté à long terme du stockage des déchets radioactifs » ou « Atelier de Cordoue » a constitué un rendez-vous important concernant les questions réglementaires dans le domaine du stockage géologique des déchets radioactifs. Les questions abordées ont porté sur les dispositions réglementaires au niveau national et international, sur la signification de la démonstration de la conformité réglementaire, ainsi que sur les différentes approches visant à mettre en place un processus réglementaire approprié. Dans les années qui ont suivi, on a pu constater de nombreuses évolutions internationales et nationales dans le domaine réglementaire. Un second atelier a été organisé à Tokyo en janvier 2009 pour faire le point sur ces évolutions. Une version projet du présent document a été utilisée comme support documentaire à l'atelier de Tokyo¹. L'objectif de ce document est de donner, de manière synthétique, une vue d'ensemble de l'évolution de la réglementation et des recommandations, tant au niveau international que national, ainsi que des initiatives internationales et multilatérales visant à élaborer des recommandations et des positions communes sur les questions réglementaires. Il a également pour objectif de donner un aperçu du retour d'expérience de l'examen réglementaire des dossiers de sûreté élaborés au cours de la dernière décennie.

Ce document examine l'évolution de ces initiatives et des questions traitées au cours de la dernière décennie en se concentrant sur les principaux domaines abordés au cours de l'atelier de Cordoue, notamment:

- Les critères de sûreté relatifs au stockage des déchets radioactifs.
- Les orientations de l'évaluation des performances.
- La conduite du processus réglementaire.

Pour ce qui concerne l'élaboration de règles de sûreté au niveau international, le standard de sûreté WS-R-4 « Stockage géologique des déchets radioactifs » (publié en 2006 et parrainé conjointement par l'AIEA et l'AEN [2]) sera notamment abordé.

1. Les enseignements essentiels de cet atelier sont publiés dans le document NEA/RWM/RF(2009)1: « Towards Transparent, Proportionate and Deliverable Regulations for Geological Disposal », disponible sur internet.

Les réglementations et les recommandations nationales émises par les pays membres de l'AEN concernant la sûreté à long terme des installations de stockage géologique qui ont été élaborées ou révisées au cours de la dernière décennie incluent notamment les guides de la CNSC (Canada, [3]), les recommandations de STUK (Finlande, [4]), les règles de sûreté du SKI et du SSI (Suède, [5-7]), et la réglementation de la NRC du point de vue général ou spécifique au site de Yucca Mountain (USA, [8,9]). En outre, un certain nombre de règles de sûreté sont actuellement en cours de développement, en République slovaque et en Suisse [10], d'autres ont récemment été élaborées ou révisées, y compris le guide de sûreté G03/d en Suisse [39], la « règle fondamentale de sûreté » RFS III.2.f de 1991 en France [11] qui devient le guide GSSG [42], le projet de recommandations relatives aux conditions d'autorisation au Royaume-Uni [41], et la règle de sûreté de l'EPA 40 CFR 197 pour Yucca Mountain de 2008 [43], ou sont en cours de révision, comme les Critères de sûreté allemands de BMU 1983 [12].

Parmi les nombreux projets internationaux et initiatives pour élaborer des recommandations ainsi que des approches et positions communes, les recommandations de la CIPR sont particulièrement déterminantes. La CIPR 81 [14], qui traite spécifiquement du stockage des déchets radioactifs, est fréquemment mentionnée dans les documents relatifs à la réglementation de sûreté. La CIPR 103 [44], récemment publiée, prend en compte un certain nombre d'évolutions récentes, mais dans une perspective beaucoup plus large. Pour ce qui concerne les questions spécifiques au stockage, elle se réfère explicitement à la CIPR 81. Bon nombre de questions liées à la réglementation et aux recommandations relatives à la sûreté à long terme des stockages de déchets radioactifs ont été abordées dans de nombreux projets et initiatives de l'AEN. Des exemples importants peuvent être cités, notamment: l'élaboration du concept de « dossier de sûreté » qui est fondamental pour le développement d'une installation de stockage et du processus réglementaire associé [16-17]; les travaux traitant de la question des échelles de temps, y compris les questions réglementaires telles que la période de conformité réglementaire [18-19]; l'analyse des critères de sûreté et des modalités de la conformité réglementaire [20], ainsi qu'un examen du rôle des régulateurs et du processus réglementaire dans un contexte sociétal élargi [21]. Récemment, un groupe d'autorités de sûreté européennes et d'appuis techniques ont réalisé une étude pilote dans laquelle les exigences réglementaires ont été précisées en fonction de l'état d'avancement d'un projet de stockage et de son dossier de sûreté [22-23].

En parallèle, des rapports d'évaluation de sûreté et des dossiers de sûreté ont été élaborés. Les principales études au niveau mondial incluent : le rapport SAFIR2 établi par l'ONDRAF/ NIRAS en 2001 en Belgique [24], la troisième étude de cas de 2004 de l'OPG (Canada) [25], le rapport de sûreté TILA-99

(Finlande) [26], et le Safety Case Plan en 2008 [40], le “Dossier 2005” établi par l’Andra (France) [27], le rapport H17 japonais [28], l’évaluation de sûreté « SR-Can » publiée par le SKB suédois en 2006 [29], le rapport de sûreté « Opalinus Clay » présenté par la Nagra (Suisse) en 2002 [30], le Yucca Mountain TSPA (Total System Performance Assessment) élaboré par la société Bechtel SAIC pour l’US DOE en 2001 [15], le « Compliance Recertification Application » pour le renouvellement de l’agrément de conformité pour le WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) de l’US-DOE 2004 (USA) [31], et le rapport d’analyse de sûreté (Safety Analysis Report) de l’US-DOE pour la demande d’autorisation relative à un stockage en formation géologique de déchets de haute activité à Yucca Mountain (License Application for a High-Level Waste Geologic Repository at Yucca Mountain) présenté à l’USNRC en juin 2008 [58].

Les sections suivantes de ce rapport présentent les thèmes précédents sous différentes têtes de chapitre : Développements des recommandations internationales, critères de sûreté pour le stockage des déchets radioactifs, orientations dans l’évaluation des performances et conduite du processus d’examen réglementaire.

2. DÉVELOPPEMENT DES RECOMMANDATIONS INTERNATIONALES

Le développement des projets de stockage géologique a été suivi en parallèle par le développement des recommandations de la CIPR, des standards de sûreté de l'AIEA et des publications de l'AEN couvrant un large domaine. Dans le cadre de nombreux forums, questionnaires, ateliers et opinions collectives, l'AEN a traité des questions clés et contribué, en vue de leur résolution, à la mise en place d'approches communes. Elle a ainsi apporté une contribution majeure à l'harmonisation tant au niveau international que national. Surtout, elle a systématiquement mis en avant le concept de « dossier de sûreté », qui avait déjà été introduit lors de l'atelier de Cordoue [1] en 1997, et l'a établi comme étant l'élément clé pour la démonstration de la sûreté à long terme d'un stockage. Dans le cadre du développement du concept de dossier de sûreté, la nécessité d'impliquer les parties prenantes dans le processus de mise en œuvre d'un stockage a également été progressivement reconnue.

2.1 Développement des recommandations de la CIPR

En 1985, la CIPR a pour la première fois traité de la question du stockage des déchets radioactifs dans sa publication 46 [45] et a préconisé, dans ce cadre, l'application de limites de dose ou de risque (1 mSv/an; 10^{-5} /an) ainsi que l'optimisation de la protection apportée par le stockage.

Les principales recommandations visant à l'obtention d'une protection radiologique appropriée ont été formulées par la CIPR en 1991 [46]. Le document correspondant (CIPR 60) présente les fondements de la radioprotection en général. Ces fondements ont été révisés mais non pas supplantés par les évolutions récentes des recommandations.

En prenant en compte les résultats de la Conférence de Rio de 1992 [47] et en publiant la CIPR 77 [48] au moment de la publication de la Convention commune en 1997 [32], la CIPR a également pris en compte la notion de développement durable et a précisé les critères à retenir pour l'évaluation de la sûreté à long terme: contraintes de dose ou de risque (0,3 mSv/an ou 10^{-5} /an); optimisation de l'exposition potentielle, utilisation des meilleures techniques disponibles (BAT) et exigences relatives à la protection des générations futures.

On doit également souligner l'importance de la CIPR 81 [14], publiée en 1998, quant à l'établissement de critères de sûreté pour le stockage. Ce document a confirmé les options de la CIPR 77 quant à l'utilisation de contraintes de dose ou de risque (0,3 mSv/an ou 10^{-5} /an). Les évaluations de la dose et du risque doivent faire l'objet d'une approche quantitative sur les périodes de temps de 1000 à 10 000 ans. Au-delà de ces échelles de temps, les contraintes de dose et de risque ne devraient plus être considérées que comme des valeurs de référence. La comparaison avec des analogues naturels est préconisée pour l'évaluation de sûreté à long terme. La CIPR met en avant d'autres éléments intervenant dans la démarche d'évaluation de sûreté à long terme d'un stockage : l'optimisation sous contrainte; la mise en œuvre de principes rationnels d'ingénierie et de gestion; la défense en profondeur; l'assurance de la qualité; les évaluations de sûreté itératives; le dossier de sûreté; les lignes de raisonnement multiples; et l'approche par étapes.

Les recommandations les plus récentes qui apparaissent en 2006 et 2007 confirment et amplifient les recommandations de la CIPR 81 à l'égard de la sûreté du stockage.

Pour ce qui concerne les principes pour l'optimisation du stockage, la CIPR 101 [15] recommande « un processus plus large qui reflète le rôle croissant du respect de l'équité intergénérationnelle, de la culture de sûreté et de l'implication des parties prenantes dans le processus décisionnel ».

La CIPR 103 [44] décrit l'optimisation de la protection comme un processus itératif prospectif visant à éviter ou à réduire les expositions futures. Elle indique expressément que « l'optimisation de la protection n'est pas la minimisation de la dose ». La dose estimée au-delà de plusieurs centaines d'années « représente un indicateur de la protection offerte par le système de stockage ». Les grands principes d'une démarche visant à la démonstration de la protection de l'environnement sont également formulés dans ce document.

2.2 Développement des standards de sûreté de l'AIEA

L'une des missions essentielles de l'AIEA est d'élaborer et de publier des standards de sûreté au niveau international. Ceux-ci ne sont pas contraignants, mais préconisent l'application des bonnes pratiques. En ce qui concerne le stockage, le premier de ces standards a été le SS-99 [49], publié en 1989, qui aborde la question de nos responsabilités envers les générations futures en exigeant la minimisation de la charge qui pèse sur ces générations et en exigeant également que la sûreté ne repose pas sur le contrôle institutionnel. Les limites de dose et de risque représentent des critères essentiels pour la sûreté du stockage.

La responsabilité de la génération actuelle vis-à-vis des générations futures est l'exigence primordiale dans toutes les recommandations de l'AIEA qui suivent le SS-99. Le standard fondamental de sûreté SF 111-F [50], publié en 1995, préconise dans ses principes fondamentaux: la protection des générations futures; l'absence de charges excessives; l'équité intergénérationnelle, la protection de l'environnement en complément à la protection de l'homme. Dans la Convention commune de 1997 [32], l'exigence fondamentale de responsabilité envers les générations futures est traitée en prescrivant des dispositions pour la protection efficace des individus, de la société et de l'environnement, et en proscrivant les actions dont les effets raisonnablement prévisibles sur les générations futures sont supérieurs à ceux admis pour la génération actuelle. Tout ceci est résumé sous la rubrique « développement durable ». Le standard de sûreté le plus récent de l'AIEA, le WS-R-4 [2], retient également, en tant que principe central, la responsabilité vis-à-vis des générations actuelles et futures. Le WS-R-4 considère en outre les développements relatifs au stockage en couches géologiques profondes tant au niveau international et national qui se sont produits sur une période récente, en particulier en ce qui concerne le respect des objectifs de protection et la démonstration de la sûreté à long terme dans un dossier de sûreté. Les exigences concrètes du WS-R-4 mettent en relief le processus de l'optimisation sous contrainte, prenant en compte les facteurs sociaux et économiques, faisant appel au jugement et placé au centre de l'approche de la sûreté. Pour ce qui concerne les évaluations de sûreté pour les périodes de temps reculées après la fermeture, des « indicateurs de sûreté autres que la dose ou de risque individuels sont recommandés ». D'autres points importants mis en avant par le WS-R-4 concernent un ensemble de recommandations, notamment: la réduction de la probabilité d'intrusion humaine ou d'autres événements perturbateurs par le choix d'un site approprié et des dispositions de conception; la prise de décision par étapes fondée sur un niveau de confiance suffisant, des systèmes de gestion efficaces, l'utilisation de fonctions de sûreté multiples, et la documentation de l'évaluation de la sûreté dans un dossier de sûreté global.

Les Fondements de la Sûreté, le document SF-1 [19], qui a été publié en 2006, en même temps que le WS-R-4, remplace les Fondements de la Sûreté publiés en 1995 dans un contexte plus large. Outre le principe fondamental selon lequel les personnes et l'environnement, présents et futurs, doivent être protégés contre les risques d'irradiation, il souligne l'importance de veiller à ce que les autorités de contrôle et les régulateurs aient des compétences techniques et managériales suffisantes. L'optimisation de la protection devient également une recommandation essentielle.

Ainsi, peut-on constater que le principe fondamental de la protection des générations futures est pour l'AIEA l'élément central et stable des standards de

sûreté internationaux pour les stockages. En revanche, les moyens qui sont utilisés pour assurer et démontrer une telle protection, ont cependant considérablement évolué au cours des années.

2.3 Développements dans le cadre de l'AEN

En lançant de nombreuses initiatives et en créant des groupes de travail pour la clarification de questions spécifiques, le Comité de gestion des déchets radioactifs (RWMC) de l'AEN a été un élément moteur essentiel dans la mise en forme et la promotion du développement des recommandations pour le stockage et son acceptation. Le RWMC a toujours promu le dialogue entre les régulateurs, les décideurs, les exploitants et les spécialistes de la R&D, et a progressivement obtenu la participation d'un éventail toujours plus large de parties prenantes. L'importance « du dossier de sûreté » pour la démonstration de sûreté d'un stockage a été reconnue et discutée à l'atelier de Cordoue en 1997. D'autres thèmes majeurs à Cordoue ont été les suivants: les questions de sûreté à long terme et le dialogue entre les régulateurs et les exploitants; le cadre de l'analyse réglementaire, les objectifs et les critères de sûreté à long terme et les mesures visant à démontrer la conformité aux exigences réglementaires (voir [1]).

Dans les années qui ont suivi l'atelier de Cordoue, le concept de dossier de sûreté a été affiné et a fait l'objet d'une présentation détaillée dans le rapport intitulé « La confiance dans la sûreté à long terme » [38], publié en 1999. Le dossier de sûreté a été défini comme un ensemble d'arguments qui comprennent « les résultats d'une évaluation de sûreté, une déclaration du niveau de confiance dans ces résultats ainsi que des éléments qualitatifs tels que la comparaison à des analogues naturels et le renforcement de la confiance ». Dans la même année, deux nouveaux rapports ont été publiés. Le rapport intitulé « Progrès accomplis dans le cadre du stockage géologique de déchets radioactifs : où en sommes nous? » [51] fait référence à la nécessité de « veiller à ce que les éléments contribuant à la confiance dans le stockage géologique soient expliqués et que cette confiance soit partagée par le grand public ». Il s'agit là du plus grand défi auquel doit faire face la mise en œuvre du stockage. Le rapport « Évacuation géologique des déchets radioactifs: Bilan des dix dernières années » [52] affirme ce qui suit: « Il est nécessaire de communiquer à un public plus large le niveau de confiance et le consensus qui se sont forgés parmi les spécialistes de la gestion des déchets radioactifs, dans le principe même et la faisabilité technique du stockage en formation géologique profonde ». Ceci constitue le fondement de la participation volontaire des parties prenantes dans le processus de développement du stockage.

En 2000, le rapport « Évaluation des dépôts géologiques profonds dans un contexte réglementaire : Enseignements tirés » [57] a été publié. Ce rapport

présente les enseignements tirés de l'expérience acquise par les organismes réglementaires et les exploitants à la suite des examens réglementaires des évaluations de performance intégrées (IPA) des stockages de déchets radioactifs, et fournit des recommandations pour faciliter la prise de décision dans un cadre réglementaire.

Les rôles du régulateur sont décrits dans le rapport NEA n° 4428 [21], publié en 2003: « Les rôles clés des régulateurs: la communication avec le public afin d'instaurer sa confiance et la transmission aux décideurs de toutes les informations nécessaires pour la prise de décision. »

Dans les rapports de l'AEN n° 3679 [16] et n° 4429 [53] qui ont été publiés en 2004, le dossier de sûreté est défini plus globalement comme « une synthèse des arguments et des éléments de preuve qui décrivent, quantifient et étayent les dispositions de sûreté de l'installation du stockage et le niveau de confiance dans la sûreté de cette installation ». L'implication des parties prenantes conduit de plus en plus à l'adoption d'une approche par étapes, dans laquelle les décisions prises peuvent être remises en cause à chaque étape.

Le traitement des échelles de temps joue un rôle essentiel dans l'élaboration d'un dossier de sûreté. Divers groupes de travail et comités institués par l'AEN ont également débattu de l'utilisation de « différents types d'argumentation suivant les périodes ou les échelles de temps » [18], venant à la conclusion que: des indicateurs de sûreté et de performance autres que la dose et le risque doivent être utilisés selon les différentes échelles de temps.

La politique d'ouverture vers le grand public est devenue de plus en plus importante; les idées principales sur ce sujet ont été résumées dans le rapport AEN n° 6041 [54], qui a été publié en 2005.

Le rapport AEN n° 6182 [20], publié en 2007, a été d'une importance particulière dans le domaine des critères de sûreté.

Les Actes de l'Atelier NEA n° 6423 [55], qui ont été publiés en 2008, conviennent des évolutions au niveau réglementaire, au cours des dix années écoulées depuis Cordoue, en ce qui concerne les exigences réglementaires en matière de sûreté à long terme. Les points d'accord essentiels sont les suivants: limitations associées au long terme et existence d'échelles de temps différentes basées sur les données géo-scientifiques et socio-culturelles. Les autres points clés sont les suivants: construction de la confiance; approche par étapes; optimisation et BAT; critères numériques limités à certaines périodes de temps, et utilisation d'indicateurs complémentaires.

Les Actes du Colloque de janvier 2007 intitulé : « Safety Cases for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste : Where do we stand ? » (NEA n° 6319 [17]) montrent que le concept de dossier de sûreté a été compris, accepté et adopté par les programmes de gestion des déchets radioactifs dans le monde entier. Ce concept préconise l'utilisation d'autres éléments que les résultats calculés numériquement (à l'aide d'indicateurs de dose radiologique, par exemple) pour démontrer la sûreté ou la conformité réglementaire. Le dossier de sûreté fournit non seulement les bases scientifiques d'un projet de stockage mais sert également de fondement pour la conception de l'installation.

La situation actuelle du stockage géologique a été présentée par le Comité de gestion des déchets radioactifs (RWMC) en 2008, dans une déclaration collective [56].

3. CRITÈRES DE SÛRETÉ POUR LE STOCKAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS

3.1 Critères de risque ou de dose pour la protection de l'homme

À l'atelier de Cordoue, le rôle et l'applicabilité des résultats du calcul d'impact (souvent aussi appelés indicateurs de sûreté), à savoir les résultats finaux des évaluations chiffrées qui doivent être comparés à des critères réglementaires, ont été largement discutés. La discussion a couvert notamment les sujets suivants :

- Le choix d'indicateurs appropriés, à savoir la dose et/ou le risque, et les critères associés ou d'autres éléments de référence.
- Le degré de rigueur avec lequel les critères associés doivent être respectés et leur relation à d'autres arguments de sûreté.
- Le choix des critères suivant les échelles de temps.

En ce qui concerne le choix des indicateurs (à savoir la dose ou le risque), l'atelier a conclu: « Il a été reconnu que le risque est, en principe, un critère plus fondamental et peut-être plus approprié que la dose, car les évaluations de sûreté des stockages de déchets radioactifs seront finalement des estimations de l'exposition potentielle, avec différents degrés de probabilité d'occurrence de l'exposition radiologique. Cependant, le concept de risque est difficile à comprendre et à utiliser dans la pratique, lorsqu'il est appliqué à l'évaluation des événements futurs, dont la probabilité peut être entachée de grandes incertitudes. Il a été suggéré d'utiliser la dose comme indicateur/critère de base pour les scénarios d'évolution de référence, et de réserver le risque pour des scénarios de probabilité d'occurrence plus faible avec la recommandation que les résultats en termes de risques soient désagrégés en probabilités et en conséquences afin de donner une meilleure appréciation des deux composantes du risque. De tels scénarios doivent être évalués de manière plus appropriée sur la base d'informations « flexibles », utilisant plusieurs lignes de raisonnement » [1].

La CIPR recommande que « les doses ou les risques estimés résultant de processus naturels devraient être comparés à une contrainte qui ne doit pas dépasser 0,3 mSv par an ou son équivalent en terme de risque 10^{-5} par an » [14].

Elle reconnaît aussi que: « Les doses et les risques, en tant que mesures du détriment sanitaire, ne peuvent pas être prévus avec certitude au-delà de périodes de temps dépassant plusieurs centaines d'années dans le futur Au lieu de cela, des estimations des doses ou des risques pour des périodes plus longues peuvent être faites et comparées aux critères appropriés ... sous forme de test en vue de donner une indication si le stockage est acceptable compte tenu de la compréhension actuelle du système de stockage. Ces estimations ne doivent pas être considérées comme des prédictions du détriment sanitaire futur ». En accord avec les conclusions de l'atelier de Cordoue, la CIPR a recommandé, dans le cas d'une analyse du risque, une présentation désagrégée des doses potentielles et des probabilités associées.

Une étude récente réalisée pour le compte du Forum des régulateurs du RWMC a constaté « des différences importantes entre les critères utilisés dans les différents États membres, avec une gamme maximale de deux ordres de grandeur dans les valeurs de référence » [20]. En outre, les critères récemment introduits ou les critères révisés ne montrent pas une meilleure convergence de ces valeurs de référence. On constate l'utilisation de critères de différentes natures tels que la dose, le risque, une combinaison de la dose et du risque, et d'autres critères avec une gamme de valeurs de référence (annexe 2 de [20], pour chaque critère individuel [4-13]). Les principes qui dictent le choix des valeurs de référence, ainsi que leur nature (limite, valeur cible, contrainte) varient selon les pays, tout comme la façon dont les calculs sont structurés et réalisés [20]. Ces constatations sont toutefois moins préoccupantes qu'il n'y paraît car les critères utilisés dans tous les pays sont bien en deçà des niveaux où les effets réels de l'exposition radiologique peuvent être observés.

La notion de conformité à la réglementation est de plus en plus considérée comme allant bien au-delà du respect des valeurs numériques de référence, conformément à l'évolution du concept de dossier de sûreté [2, 16-17]. Par conséquent, les évaluations d'impact perdent de leur importance en comparaison d'autres approches, plus « flexibles » comme les bonnes pratiques en matière de choix de site, de conception et d'ingénierie, la mise en œuvre d'un processus d'optimisation, l'utilisation des meilleures techniques disponibles (BAT), la mise en œuvre de principes de gestion adéquate, etc. Tous les rapports de sûreté cités dans l'introduction donnent un poids important à ces éléments, et les nombreux textes réglementaires et recommandations associées qui ont été récemment élaborés ou révisés évoluent dans ce sens.

Cette dernière observation est en accord avec la demande de l'atelier de Cordoue réclamant des approches plus « flexibles » pour le respect de la conformité: « Il a été noté à cet égard que, dans un contexte de prise de décision, les critères individuels de « haut niveau » comme les indicateurs de dose ou de

risque, associés à un processus de décision conforme/non conforme, avaient l'avantage d'être transparents et faciles à comprendre par le public, mais qu'une approche plus sophistiquée prenant en compte des critères multiples était plus appropriée ».

Les exigences relatives aux « critères multiples » ou aux « faisceaux de preuves multiples » dans les règles de sûreté et les recommandations nationales récentes incluent: pour le Canada (Canadian regulatory guidance) [3] l'exigence de « la construction de la confiance par l'argumentation » et le « développement d'un dossier de sûreté, qui comprend une évaluation de la sûreté complétée par divers arguments supplémentaires », pour la Finlande les « principes de conception » [4], pour la Suède l'exigence de l'utilisation des « meilleures techniques disponibles » (BAT) [7] et pour la Suisse l'obligation d'apporter des arguments de justification pour l'évaluation de la sûreté globale [39]. Récemment, des directives révisées au Royaume-Uni [41] mentionnent « l'utilisation de « lignes de raisonnement multiples » basées sur un ensemble d'éléments justificatifs, conduisant à un ensemble d'arguments complémentaires pour la protection de l'environnement » ainsi que des « exemples d'indicateurs de protection de l'environnement qui pourraient être utilisés pour renforcer l'analyse de sûreté relative à l'environnement et comprenant la dose, le flux de radionucléides, les temps de transfert des substances radioactives dans la géosphère, leur concentration dans l'environnement et leur radiotoxicité.

L'analyse qui précède permet de constater qu'il existe, suivant les pays, différentes valeurs numériques de référence pour les critères de sûreté mais permet également d'entrevoir une évolution vers une compréhension commune de la nature du dossier de sûreté qui amène à faire évoluer l'interprétation de la notion de conformité réglementaire dans la communauté scientifique en général, et parmi les régulateurs, en particulier. En conséquence, un certain nombre d'organismes réglementaires et d'appuis techniques ont récemment conclu: « Bien que les cadres réglementaires diffèrent considérablement suivant les pays, les pratiques réglementaires diffèrent beaucoup moins » [22].

3.2 Protection de l'environnement

Dans les années qui ont suivi l'atelier de Cordoue, de nombreuses initiatives ont été lancées par les autorités de radioprotection avec l'objectif de réexaminer les approches mises en place jusqu'à cette date et qui visaient exclusivement la protection de l'homme, ceci afin d'élargir le champ de la protection aux autres espèces vivantes. Il faut constater, dans les réglementations nationales relatives à la sûreté à long terme d'un stockage, que l'approche et les méthodes à retenir pour prendre en considération la protection de la flore et la faune sont encore actuellement des questions ouvertes dans de nombreux pays.

Sur le thème de la protection de l'environnement, les principales avancées sur le plan national et international au cours des dix dernières années se sont concrétisées par les actions suivantes:

- L'organisation de plusieurs conférences et congrès, en particulier à l'initiative de la CIPR, de l'AIEA, de la Commission européenne et de l'AEN.
- La constitution d'équipes indépendantes et de groupes de travail.
- Le lancement de nombreux programmes de recherche.
- Le développement de différents modèles d'évaluation et de différentes approches, notamment sur les données de référence pour les animaux et les plantes (RAPs) de la CIPR ou les organismes vivants de référence spécifiquement définis dans les programmes nationaux.

Sur la même période, les documents importants suivants ont été publiés:

- En 1999 et 2002, deux rapports techniques de l'AIEA [34-35].
- En 2003 le rapport de la CIPR [36] intitulé: « Un cadre pour l'évaluation de l'impact des rayonnements ionisants sur les espèces vivantes ».
- En mars 2007 de nouvelles recommandations de la CIPR. Parmi les principaux sujets traités on souligne: « Une approche visant à développer un cadre pour la démonstration de la protection radiologique des espèces vivantes, remarquant qu'il n'existe pas actuellement de politique détaillée à ce sujet » [37].

Le développement d'une protection prolongée de l'environnement, notamment la flore et la faune, a déjà été pris en compte dans la réglementation des pays suivants:

- Le SSI suédois [7] stipule que « les organismes vivants pris en compte dans l'analyse de l'impact sur l'environnement devraient être choisis sur la base de leur importance pour les écosystèmes, mais aussi selon la protection qu'on veut leur accorder en fonction de critères biologiques, économiques ou relatifs à la conservation des espèces. ... L'évaluation des effets des rayonnements ionisants, sur les organismes vivants sélectionnés, lorsqu'ils sont émis par les substances radioactives en provenance d'un stockage, peut être conduite sur la base des recommandations générales fournies par la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements ionisants (CIPR) Publication 91 ».

- Les recommandations de l’Autorité finlandaise de radioprotection et de sûreté nucléaire (STUK) [4], indiquent : « Le stockage des combustibles usés ne doit pas nuire à la faune ni à la flore. » « En outre, les animaux et plantes rares ainsi que les animaux domestiques ne doivent pas être exposés au rayonnement de manière préjudiciable à leur santé en tant qu’individus ».
- Le guide réglementaire canadien G-320 [3] stipule: « La NSCA et ses textes réglementaires demandant la protection de l’homme et de l’environnement, les évaluations à long terme doivent considérer l’impact sur l’homme et les organismes vivants en prenant en compte les dangers associés aux substances radioactives ainsi qu’aux toxiques chimiques qui sont présents dans les déchets radioactifs.... ».
- Le projet de recommandations au Royaume-Uni [41], stipule: « Des mesures sont nécessaires non seulement pour protéger l’homme, mais aussi pour protéger l’environnement. L’objectif est de maintenir la diversité biologique, préserver les espèces, protéger la santé des êtres vivants et préserver leurs habitats naturels et leur vie en société. Pour les espèces vivantes l’objectif général est la protection des écosystèmes contre l’exposition aux radiations qui auraient des conséquences néfastes sur une population considérée dans son ensemble, à différencier de la protection des individus de cette population ».
- Le projet de ligne directrice G03/D de la Suisse [39] stipule: « L’environnement en tant que berceau naturel de l’existence de l’homme et des autres créatures doit être protégé. La biodiversité ne doit pas être mise en danger par un stockage en couches géologiques profondes ».

Outre l’évaluation du risque radiologique, on constate une demande croissante pour un critère unique permettant l’évaluation conjointe des effets des polluants radioactifs et chimiques. Ce point est mentionné dans les guides réglementaires canadiens [3]. Le projet de recommandations au Royaume-Uni [41] stipule: « Le dossier de sûreté, pour ce qui concerne la protection de l’environnement, devra démontrer que l’homme et l’environnement sont protégés de manière adéquate contre les dangers non radiologiques, ceci devant être assez simple compte tenu de la nature même de l’installation de stockage, dans laquelle les déchets sont isolés de l’environnement accessible à l’homme. Le guide français GSSG [42] recommande que l’évaluation du comportement à long terme du futur stockage prenne également en compte les risques associés à la libération de composés chimio-toxiques ; il est indiqué notamment : « ... la modélisation du comportement futur du système de stockage pour un jeu de scénarios représentatifs de la situation de référence et des situations altérées, ainsi que l’estimation des risques radiologiques et chimiques associés à chacun de ces scénarios ».

3.3 Échelles de temps

L'une des questions clés pour laquelle un débat est toujours en cours est celle des échelles de temps en liaison avec la conformité réglementaire. Les arguments fréquemment utilisés se réfèrent d'une part, à la question de l'obligation de protéger les générations futures, et d'autre part aux limites pratiques des possibilités humaines pour apporter les éléments nécessaires à la constitution d'un dossier de sûreté, et plus particulièrement à la prévision de l'évolution à long terme du stockage. En ce qui concerne le premier point, la déclaration de la Convention commune stipulant [32] qu'il faut que « ... les individus, la société et l'environnement soient protégés, aujourd'hui et à l'avenir, contre les effets nocifs des rayonnements ionisants, de sorte qu'il soit satisfait aux besoins et aspirations de la génération actuelle sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire les leurs » a souvent été interprétée comme une obligation d'évaluer la performance du stockage et sa sûreté sur toute la période pendant laquelle les déchets présentent un risque. Compte tenu du fait que « ... même si le danger potentiel du combustible usé et des déchets de longue durée de vie diminue fortement au fil du temps, ces déchets ne peuvent jamais être considérés comme intrinsèquement inoffensifs » [19], cette interprétation conduirait en fait à l'exigence de démontrer la sûreté par le biais de critères chiffrés sur des échelles de temps pratiquement sans limites.

Il faut noter à cet égard que le calcul à long terme d'indicateurs de dose et de risque repose en grande partie sur des hypothèses relatives à l'évolution des aquifères proches de la surface et à celle de la biosphère, pour lesquels les modifications ne peuvent être prévues de manière fiable que sur des périodes de temps très limitées (dizaines à centaines d'années) [18]. En revanche, pour d'autres composants du système de stockage, ces prévisions sont réalistes et fiables sur des périodes de temps bien plus longues: « ... pour un site bien choisi, l'évolution des caractéristiques générales du système de barrières ouvragées (EBS) et de la roche hôte, sont raisonnablement prévisibles sur une longue période (100 000 ans à un million d'années, dans le cas de la roche hôte). Il peut exister des incertitudes qui affectent l'évolution des barrières ouvragées et de la roche hôte sur des périodes plus courtes, mais elles sont, en général, bien bornées, avec un bon niveau de confiance » [18]. Ceci a conduit à préconiser l'utilisation d'indicateurs de sûreté directement liés à des caractéristiques de ces composants plutôt qu'à se référer à la dose ou au risque. Cependant, même si cette approche est fructueuse, il existera toujours, néanmoins, une divergence évidente entre l'évolution idéalisée et la réalité conduisant à ce qu'on appelle le « dilemme du régulateur ».

Dans le cadre de l'atelier de Cordoue, un certain nombre de suggestions ont été émises pour remédier à ce problème, y compris l'idée que l'on pourrait

véritablement justifier une approche modulée suivant les échelles de temps incluant : une interruption pure et simple de l'évaluation dans le temps ou la possibilité de passer progressivement d'approches essentiellement quantitatives à des approches plus qualitatives à très long terme. La nécessité de clarifier le sens et l'interprétation des échelles de temps et des interruptions dans l'évaluation a toutefois été reconnue. Depuis, on observe en fait, que de nombreuses réglementations et des dossiers de sûreté se limitent à évaluer des périodes de temps ne dépassant pas le million d'années. On peut remarquer que, probablement, l'élément le mieux connu concernant l'évolution de cette question concerne les États-Unis, où, entre autres choses, la période réglementaire de 10 000 ans, fixée par la réglementation de l'EPA [13], a été contestée en cour de justice. L'EPA a par la suite révisé sa réglementation se fondant sur des recommandations de la *National Academy of Sciences* (NAS) qui a identifié une période de temps de l'ordre d'un million d'années pour laquelle il est raisonnable de procéder à des évaluations de sûreté sur le site de Yucca Mountain [43].

Un certain nombre d'analyses récentes, en particulier dans le cadre des travaux de l'AEN sur les critères de sûreté à long terme [20], montrent que l'interprétation susmentionnée de la déclaration de la Convention commune (à savoir la demande de conduire une évaluation, sur toute la période de temps pendant laquelle les déchets présentent un risque) est discutable, tout au moins sur le plan éthique. « La plupart des spécialistes en éthique acceptent qu'une génération ait des responsabilités envers les générations futures, mais les avis divergent sur la nature de ces obligations et leur durée. Certains affirment que cette responsabilité s'étend aussi longtemps que l'impact potentiel existe, c'est-à-dire qu'il ne peut y avoir d'interruption de l'évaluation. Ce point de vue péremptoire est contré par la position plus pragmatique que la responsabilité doit nécessairement diminuer dans le temps, reflétant notre capacité de plus en plus limitée de s'acquitter de cette responsabilité. Même s'il est reconnu, dans le contexte de la responsabilité envers les générations futures, que le devoir de protection ne change pas au fil du temps, il est clairement admis que notre capacité à assumer cette responsabilité évolue avec le temps » [20].

Le fait que les incertitudes s'accroissent avec le temps et que le niveau de cet accroissement dépende des composants du stockage peut être, et se trouve *de facto* pris en compte par différents biais dans les règles et les dossiers de sûreté. Le plus pragmatique, quoique rudimentaire, est d'interrompre les évaluations par une coupure stricte et ainsi d'exclure les périodes pendant lesquelles les prévisions deviennent peu vraisemblables. Elle s'appuie sur le fait qu'« évaluer » un impact dans le sens fort du terme implique la capacité de réaliser une modélisation suffisamment fiable des aquifères de surface et de la biosphère, ce qui est envisageable uniquement pour des temps relativement

courts (voir ci-dessus). Au lieu de cela, il est convenu de reconnaître que les estimations de dose ou de risque « ... ne devraient pas être considérées comme des mesures du détriment sanitaire au-delà de périodes de temps de l'ordre de plusieurs centaines d'années dans l'avenir » mais plutôt « ... constituent des indicateurs de la protection offerte par le système de stockage ». [14]

Il existe diverses manières d'« assouplir » une approche fondée sur une coupure dans le temps ou de la remplacer par une approche traitant de manières différentes les différentes périodes de temps. Les implications de ces approches en termes d'éthique et de philosophie de sûreté sont largement débattues dans [20]. Le choix de différents types d'indicateurs quantitatifs et d'arguments plus qualitatifs et le poids donné à ces indicateurs peuvent varier avec le temps. STUK fixe une limite de dose sur une première période de temps et des limites sur les flux de radionucléides pour des périodes plus lointaines [4]. Le Royaume-Uni dans son projet de recommandation [41] mentionne: « Lorsque la protection de l'environnement doit être assurée sur des périodes très longues, il est probable que ceci ne peut être obtenu que par le biais de plusieurs lignes de raisonnement basées sur une variété d'éléments de preuve, conduisant à des arguments de sûreté complémentaires concernant l'environnement ». Le guide G03/d suisse [39] stipule: « La démonstration de sûreté comprend également une évaluation des méthodes de l'analyse de sûreté et des données utilisées. Si nécessaire, on peut se référer à d'autres arguments supports pour fonder les résultats de l'analyse de sûreté. « Cette approche peut être considérée comme faisant partie de l'idée plus large et désormais largement acceptée d'établir un dossier de sûreté à partir d'arguments d'origines multiples, un concept qui a évolué de telle façon que l'accent est mis sur la démonstration de performances appropriées du système, soulignée, par exemple, par des propositions récentes d'indicateurs plus directement liés aux fonctions de sûreté telles que l'isolement [33].

En résumé, on peut affirmer que les travaux récents à l'AEN ainsi qu'au sein des programmes nationaux a conduit à faire progresser la réflexion, mais le besoin exprimé à Cordoue de « ... préciser le sens et l'interprétation des échelles de temps proposées ou des coupures dans le temps » reste d'actualité et on identifie le besoin de poursuivre cet effort. L'obligation de protéger les générations futures contre les effets nocifs des rayonnements ionisants et celle de résoudre la question de la gestion des déchets radioactifs dès maintenant sans pour autant imposer une charge aux générations futures conduit à un conflit éthique car, en pratique, les capacités de démonstration de la protection des générations futures sur des périodes de temps extrêmement longues sont actuellement limitées. Cette question essentielle qui reste sans réponse a été discutée ces dernières années, en particulier au sein du Forum des régulateurs du RWMC », où de nouveaux travaux sont en cours.

4. ORIENTATIONS POUR L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES

Des exposés généraux sur le rôle de l'évaluation des performances (PA) à la conférence de Cordoue montrent que les résultats de cette évaluation constituent une part essentielle de la base technique et scientifique fournie dans un dossier de sûreté. Par conséquent, on identifie la nécessité d'une compréhension suffisante du comportement du système de stockage et d'une démarche prudente dans la mise en œuvre d'une approche quantitative dans un contexte d'incertitudes. Ces évaluations des performances ne devraient pas être considérées comme des prédictions mais plutôt comme des *illustrations pessimistes* du comportement à long terme du système de stockage. Les évaluations des performances peuvent être effectuées à des fins diverses (identifier les priorités de R&D, effectuer des calculs enveloppes, évaluer la sensibilité des paramètres, ou réaliser un dossier d'autorisation). Il est à noter qu'il y aura toujours des incertitudes qu'on ne pourra réduire. Ainsi, l'interprétation des résultats de l'évaluation des performances exige de la prudence et les résultats fournis doivent faire l'objet de qualifications appropriées [1].

4.1 Le développement général de l'évaluation des performances/dossier de sûreté

Des progrès significatifs ont été réalisés par l'intégration de l'évaluation des performances dans le contexte plus large d'un dossier de sûreté [16-17] et en précisant les différents rôles d'« évaluation des performances », « évaluation de la sûreté » et « analyse de sûreté » comme éléments d'un dossier de sûreté. Deux ans après l'atelier de Cordoue, une première définition systématique du contenu requis de l'évaluation des performances et de son rôle dans un dossier de sûreté a été présentée dans le document sur « l'établissement de la confiance » de l'AEN [38], qui a été revu par un groupe de travail de l'AEN au cours de l'année 2000 [57]. Les propositions et les résultats obtenus dans ces rapports sont fortement axés sur l'idée d'établir la confiance. En 2004 et 2006, deux publications importantes [16,2] ont été fournies avec des définitions plus complètes et plus techniques des termes d'« évaluation de la sûreté », qui peut être considérée comme rassemblant les conclusions liées à la sûreté de l'évaluation des performances; et de « dossier de sûreté », comme l'intégration de tous les arguments et les preuves (y compris les résultats de l'évaluation des performances) qui « décrivent, quantifient et justifient la sûreté et le niveau de confiance » ... [16].

En liaison plus ou moins étroite avec l'évolution générale vers des stratégies de sûreté couvrant un domaine plus large, fondées sur un ensemble de preuves, on peut observer, au niveau international, les changements, évolutions et orientations importantes suivantes permettant de garantir et de démontrer la sûreté d'un système de stockage.

Le caractère prédictif des résultats des évaluations de performances (doses/risques calculés) est limité à une période de temps courte (< 1 000 ans), au-delà de laquelle ces résultats ne peuvent plus être utilisés qu'en tant qu'indicateurs du niveau de sûreté du système de stockage, lié à son comportement, en terme d'exposition potentielle ou en tant qu'indicateurs du potentiel d'isolement apporté par le système. Dans ce contexte, on rencontre des difficultés pour faire comprendre que l'évaluation des performances n'est pas une prédiction de l'évolution future du stockage (ceci est mis en évidence dans [20]). Une meilleure communication entre les spécialistes de l'évaluation des performances et les radioprotectionnistes peut sans doute se révéler nécessaire pour aider à résoudre ce type de problème.

En liaison avec le problème de la prévisibilité à long terme, l'utilisation de plusieurs lignes d'arguments et de critères multiples ou parallèles (par exemple analogues naturels, temps de séjour des eaux souterraines) est devenu un élément important pour étayer les résultats des analyses de sûreté réalisées dans le cadre d'évaluations des performances [2]. En raison de l'importance croissante de l'utilisation de plusieurs lignes d'arguments et d'éléments de preuve complémentaires à la dose et au risque, le rôle des analyses de sûreté et la nature de leurs résultats dans le contexte global d'un dossier de sûreté a récemment fait l'objet de nouvelles analyses. Le rôle de l'évaluation des performances faisant partie du dossier de sûreté est toujours crucial, mais le poids qu'on peut lui donner dépend des différentes étapes du développement du stockage, une question qui est abordée dans la perspective de l'examen réglementaire dans l'Étude Pilote Européenne [22-23].

Il est largement reconnu, au niveau international, qu'un développement par étapes pour le processus de décision dans le cadre d'un dossier de sûreté, incluant la participation du public et la possibilité de réversibilité ou de modification des décisions prises lors des étapes précédentes (cf. 4.2), est essentielle pour gérer de manière efficace la procédure de décision complexe et de longue durée caractérisant le stockage des déchets radioactifs (en considérant également le financement économique et en tenant compte de l'évolution sur le plan technique et scientifique), ainsi que pour parvenir à la confiance requise du grand public et des parties prenantes [21].

Le principe de l'optimisation de la sûreté du stockage et des expositions potentielles, qui provient du principe ALARA de radioprotection, est associé, du point de vue méthodologique, au processus de décisions par étapes. L'idée d'optimisation a été à l'origine reprise dans la CIPR 81 et par la suite définie de manière plus précise dans la CIPR 101 [15] « comme un processus associé à une source unique pour maintenir la valeur des doses individuelles, le nombre de personnes exposées et la probabilité d'exposition potentielle aussi bas que raisonnablement possibles en dessous des contraintes de dose appropriées, les facteurs économiques et sociaux étant pris en compte. « Au sein de la communauté internationale, le terme d'optimisation est souvent utilisé dans un sens plus large, ne se limitant pas à des exigences de radioprotection, par exemple l'exigence de l'application de l'état de l'art en matière de techniques et de méthodologies, vérifiée à chaque étape du dossier de sûreté ou même rétroactivement à la fin de la procédure d'autorisation (par exemple, la procédure d'approbation du projet de la mine de Konrad, Allemagne), ainsi que la réflexion par étapes sur les mesures appropriées qui peuvent contribuer à une amélioration de la sûreté du système. La CIPR 103 [44] a déclaré : « L'optimisation de la protection est un processus itératif et prospectif visant à prévenir ou réduire les expositions futures. Ce processus est continu, en tenant compte des développements techniques et socio-économiques et nécessite des jugements à la fois qualitatifs et quantitatifs. Le processus devrait être systématique et bien structuré pour faire en sorte que tous les aspects pertinents soient pris en compte. L'optimisation est un état d'esprit, posant toujours la question de savoir si le meilleur a été fait dans les circonstances qui prévalent, et si tout ce qui est raisonnable a été fait pour réduire les doses. Elle exige également l'engagement à tous les niveaux dans toutes les organisations concernées ainsi que des procédures adéquates et des ressources ».

L'exigence de l'application des meilleures techniques disponibles (BAT), qui a été mise en œuvre dans les règles de sûreté suédoises [7], est liée à la notion d'optimisation. Au niveau international, il existe un besoin de clarifications de la signification de l'optimisation et du BAT et de leurs limitations dans le cadre du processus réglementaire s'appliquant au domaine de l'élimination des déchets radioactifs. On constate un consensus large sur la nécessité d'une approche plus sophistiquée pour la gestion des incertitudes, qui devrait conduire à une attitude plus critique à l'égard du degré de pessimisme retenu (données et hypothèses, etc.), de l'application de méthodes probabilistes et de la nécessité de faire connaître l'impact des incertitudes restantes, non réductibles, sur les déclarations relatives au niveau de sûreté obtenu. Un dossier de sûreté doit démontrer que des incertitudes qui ont effectivement un potentiel de compromettre la sûreté peuvent être traitées de manière adéquate dans les futures étapes du projet grâce à un programme de recherche et une stratégie appropriée de gestion [2]. Dans ce contexte, l'exigence de robustesse du

système est de plus en plus importante. Les critères essentiels pour atteindre la robustesse du système conduisent : à placer le stockage à une distance suffisante des zones tectoniques actives et à une profondeur suffisante; à rechercher une zone ne renfermant pas des ressources naturelles importantes qui pourraient attirer les générations futures, et à privilégier un concept multi-barrières apportant des contributions complémentaires à la sûreté globale du système [2].

Il est aussi communément admis qu'une meilleure communication est indispensable entre les principaux « acteurs » et les parties prenantes non directement impliquées dans le processus d'autorisation. Ceci requiert une information nécessaire suffisamment accessible, une documentation compréhensible et référencée et une explication relative au concept de sûreté utilisé, une information scientifique et technique sur les méthodes d'évaluation utilisées (par exemple les outils informatiques et bases de données), les bases de l'évaluation et le dossier de sûreté en général [2], ainsi qu'une définition claire des règles de sûreté et une justification des décisions prises [21] (cf. 4.1). La nécessité d'une compréhension partagée et d'une définition des termes de base, tels que sûreté, protection et objectifs fondamentaux du stockage est soulignée dans [20].

4.2 Autres aspects techniques, scientifiques et méthodologiques

Lors de l'atelier de Cordoue certains sujets scientifiques et techniques supplémentaires, qui ne sont pas couverts par la discussion ci-dessus, ont été identifiés comme nécessitant également d'être discutés, clarifiés ou améliorés :

- La probabilité des événements: Il est nécessaire d'aborder cette question, qui est fortement liée au cadre réglementaire. Par exemple, le critère de risque de la Suède [6] et le récent dossier de sûreté [29] ont souvent recours à des estimations majorantes permettant d'éviter l'estimation des probabilités. D'autres rapports de sûreté qui ont été élaborés dans des conditions réglementaires différentes donnent moins de poids aux probabilités des événements.
- Les probabilités d'intrusion humaines: Il y a un consensus croissant que l'évolution de l'homme et de la société ne peut être prévue à long terme sur une base scientifique raisonnable. Ainsi, affecter des probabilités à des actions d'intrusion humaine n'est pas considéré comme raisonnable, comme l'atteste l'absence de telles estimations dans la plupart des dossiers de sûreté des dernières années.
- Les approches stylisées: un développement important des modèles de la biosphère peut être observé au niveau international. Deux projets de recherche internationaux visent à une compilation structurée de méthodologies pour la création de biosphères de référence en régime

stationnaire (BIOMASS, AIEA) et à l'étude des changements climatiques (BIOCLIM, UE). Il existe des différences significatives entre les pays membres de l'OCDE concernant la mise en œuvre de modèles de biosphère stylisés par rapport aux considérations spécifiques au site. Récemment, il a été possible d'observer des divergences de vues entre les spécialistes de l'évaluation des performances et les radioprotectionnistes sur la signification des modèles de biosphère stylisés en raison du manque de prévisibilité de l'évolution de la biosphère sur de longues périodes.

- Approches déterministes ou probabilistes: Le rôle complémentaire des deux approches est maintenant largement reconnu. Néanmoins, le poids relatif attribué à chacune des approches dans les dossiers de sûreté récents varie en fonction, entre autres choses, du contexte réglementaire. Bien que la majorité des règles ne prescrivent pas explicitement le choix à faire en ce qui concerne les approches déterministes ou probabilistes (exceptions notables: [4,5,13]), des règles basées sur le risque sont souvent interprétées comme nécessitant des approches probabilistes.
- Récupérabilité ou réversibilité (R&R): La question de la récupérabilité et de la réversibilité est une question largement débattue à ce jour, surtout en ce qui concerne les aspects éthiques et socio-économiques. La réversibilité est étroitement liée à l'approche par étapes, qui aujourd'hui représente la base de la mise en œuvre du stockage ou de la procédure d'autorisation dans tous les pays. Dans certains pays, comme la France, les États-Unis et la Suisse, la réversibilité ou la reprise sont stipulées dans la loi avant la fin de l'autorisation d'exploitation ou la fermeture définitive du dépôt [4,2,8,9,10]. Les règlements y afférents doivent en tenir compte. Il n'existe cependant, dans aucun pays, des exigences réglementaires sur la récupérabilité des colis en phase de post-fermeture.

5. LA CONDUITE DU PROCESSUS D'EXAMEN RÉGLEMENTAIRE

La troisième section de l'atelier de Cordoue a été consacrée aux questions réglementaires de niveau plus élevé, tels que la conduite de la procédure d'autorisation par les régulateurs pour juger de la conformité aux exigences réglementaires et, finalement, de l'acceptabilité des installations de stockage des déchets sur le plan technique. Bien que l'atelier ne fût pas destiné à couvrir les questions non techniques dans le détail, leur importance a été reconnue et leur influence sur le déroulement du processus d'examen réglementaire a été discutée.

5.1 Le processus d'analyse technique

Lors de l'atelier de Cordoue, les questions concernant la relation entre l'exploitant et le régulateur, le niveau de prescription de la réglementation, la définition des « règles du jeu » et le besoin de compétence technique du régulateur ont été examinés. Les idées générales et les propositions concernant le rôle du régulateur et son image dans une procédure d'autorisation dans le cadre d'une société moderne en évolution, qui traite des sujets mentionnés ci-dessus, ont été discutées au sein du Forum de l'AEN sur la confiance des parties prenantes (FSC) et publiées dans [21] :

- Relation entre le régulateur et exploitant: « Comme l'expérience finlandaise l'a montré, les avis du régulateur peuvent, dans tous les cas, être importants pendant le processus d'implémentation en fixant des échéances pour l'analyse des dossiers. Ce modèle de dialogue « informel » entre les exploitants et les régulateurs exige une confiance sociale envers les autorités réglementaires. Il exige également un processus bien défini d'interactions qui accroît la confiance du public et veille à ce que le processus décisionnel en matière d'autorisation ne soit pas contraint par la suite ou compromis légalement ou juridiquement (p. 10). » Cette dernière exigence a été soulignée par la définition des prérogatives des régulateurs (p. 14): « Les régulateurs ont besoin d'être indépendants des organisations de l'industrie de l'énergie nucléaire en ce qui concerne les décisions d'autorisation, et de toutes les autres organisations susceptibles d'être affectées par ces décisions. L'indépendance doit être démontrée par des dispositions claires ».

- Degrés de prescription de la réglementation: Dans [21], on note une gamme de philosophies réglementaires différentes. Une réglementation contraignante fournit des messages clairs à l'exploitant et au public en général. Toutefois, si elle trop contraignante, elle peut entraver le développement de techniques et de procédures. Une réglementation moins contraignante offre davantage de possibilités pour un dialogue constructif entre le régulateur et l'exploitant et pourrait être bénéfique pour le développement de procédures techniques, mais il pourrait laisser trop d'espace à l'interprétation et donner peut-être l'impression d'un contrôle insuffisant par les autorités.
- La définition des « règles du jeu »: Conformément aux conclusions de l'atelier de Cordoue, le FSC a indiqué dans [21] que « les « règles du jeu » pour le processus réglementaire devraient être connues dès que possible et en tout cas avant une demande d'autorisation ». Allant plus loin, il est souhaitable que le public puisse percevoir l'ensemble du système de réglementation, y compris la formulation de politiques pertinentes par le gouvernement, comme étant impartial et équitable. Au minimum, les régulateurs devraient communiquer clairement les bases de leurs délibérations finales et les décisions prises.
- La compétence technique [21] (p. 14): « La compétence est à la fois statutaire et effective. La compétence statutaire est accordée par le mandat défini pour le régulateur dans le programme national. Il est indispensable pour sa légitimité et son action. La compétence efficace repose sur la formation du personnel réglementaires et les ressources de son institution. Le personnel réglementaire doit avoir l'expertise nécessaire et des ressources suffisantes pour un examen minutieux des propositions de l'exploitant et de ses arguments. Atteindre et maintenir une compétence effective suffisante au sein des autorités réglementaires signifie qu'elles doivent être capables d'attirer et de retenir le personnel compétent ».

Des progrès importants concernant l'examen technique réglementaire dans le cadre de la prise de décision par étapes ont été obtenus par l'Étude Pilote Européenne [22-23], qui décrit précisément le contenu des différentes étapes dans le cadre des procédures d'autorisation, à savoir la phase conceptuelle, de choix de site et de conception détaillée. Le groupe a proposé, qu'à chaque stade de développement, le concept de stockage, les évolutions de la stratégie de sûreté, la justification du concept et du choix de site, les études d'impact et l'adéquation des systèmes de gestion soient actualisés et analysés. À cet égard, le dossier de sûreté présentant les arguments et informations nécessaires à l'appui ainsi que l'évaluation portant sur les aspects ci-dessus devra clairement exposer les différents éléments du dossier, dès le début d'un projet de stockage,

en couvrant les options de conception et les éléments clés sur lesquels repose la sûreté, avec une description de la stratégie retenue pour acquérir progressivement suffisamment de connaissances sur les éléments régissant la capacité de confinement et d'isolement du système de stockage.

5.2 Les aspects non techniques et leur impact

Les sujets non techniques abordés lors de l'atelier de Cordoue concernent la transparence et la construction de la confiance dans le cadre d'une procédure d'autorisation [1]. Ceci se rattache, en particulier, à la définition du rôle du public dans un processus réglementaire et à la question de savoir laquelle des institutions/organismes concernées est chargée de communiquer avec le public et d'apporter des éléments de construction de la confiance dans la démarche progressive par étapes.

De manière générale, une nouvelle dynamique de dialogue et de prise de décision a été observée, caractérisée par le FSC comme un abandon du modèle traditionnel « décider, annoncer et défendre » (DAD), exclusivement centré sur le contenu technique, pour adopter celui qui consiste à « s'engager, interagir et coopérer » (EIC), pour lequel le contenu technique et la qualité du processus sont d'une importance comparable pour obtenir un résultat probant [21]. Un élément important dans la stratégie EIC est la participation du public au processus de réglementation, qui est une pratique habituelle dans certains cas (par exemple, la NRC), et a été peu à peu introduite par d'autres régulateurs (par exemple, CNSC, HSK, SKI et SSI). Selon le cadre juridique national, les approches diffèrent suivant les pays, allant de commentaires du public et des parties prenantes à des réunions publiques dans le cadre d'autorisations et d'auditions. Quel que soit le degré d'implication, il existe un large consensus sur le constat que la participation du public et des intervenants est essentielle et doit intervenir très tôt pour exercer suffisamment d'influence.

Suivant les contraintes légales, le rôle du régulateur, pour ce qui concerne la communication avec le public, varie de pays à pays. Dans [21], le FSC définit le rôle des régulateurs sur la base d'un concept réglementaire commun, dans lequel « les régulateurs devraient être 'les garants de la sûreté' et les 'experts du peuple', agissant comme un recours accessible pour les parties prenantes afin de répondre aux préoccupations de sûreté. Les régulateurs doivent donc établir de bons contacts avec les différentes parties prenantes. Des dispositions doivent être mises en place pour qu'un dialogue s'instaure avec le public en général, les exploitants, les différents ministères, le parlement, les groupes d'action concernés et d'autres groupes ». Au minimum, il est prévu que les régulateurs doivent informer (les parties prenantes) sur le fondement de leurs décisions.

Une vue d'ensemble actualisée et synthétique des mécanismes et des qualités requises pour atteindre la confiance du public du point de vue des régulateurs est donnée dans le document[20], d'après lequel trois piliers ont été identifiés comme cruciaux pour gagner le niveau requis de confiance: la confiance dans les institutions responsables de la prise de décisions (rôles définis de façon claire et compréhensible; institutions indépendantes, sous tutelle crédible, honnêtes, transparentes, ouvertes), la confiance dans le processus de décision (décisions claires et cohérentes, processus de prise de décision par étapes avec la participation du public, possibilité de réversibilité ou de modification des décisions prises, critères adaptés à chaque étape, utilisation de plusieurs lignes d'argumentation et de critères multiples ou parallèles), et la confiance dans le concept technique et les mesures de contrôle (utilisation de méthodes adéquates, vérifiées et transparentes; utilisation de critères d'évaluation complémentaires, telles que la robustesse, la sûreté passive, les dispositions sur l'utilisation des terrains, la possibilité de reprise des colis, la surveillance, etc. ; élaboration d'une « feuille de route » du processus suffisamment claire, même à un stade peu avancé; conception d'un système qui peut assurer un niveau acceptable de sûreté même en l'absence de contrôle dans l'avenir).

6. CONCLUSIONS

Depuis l'atelier de Cordoue, en 1997, un nombre important d'initiatives a été lancé dans le domaine réglementaire tant au niveau international que national. Les principales évolutions sont les suivantes:

Le strict respect de valeurs limites quantitatives pour l'atteinte des objectifs de protection en tant que seul élément de démonstration de sûreté à long terme est de plus en plus contesté, en raison notamment des périodes de temps concernées. La prise en compte des échelles de temps et des interruptions de la période de conformité réglementaire dans le temps nécessite des éclaircissements complémentaires. La démonstration de la sûreté à long terme couvre un domaine plus large par un ensemble d'éléments de preuve et des arguments établissant la confiance. Des arguments qualitatifs tels qu'un processus de choix de site, de conception et une ingénierie de qualité, un processus d'optimisation, l'utilisation des meilleures techniques disponibles, la mise en œuvre des principes de gestion adéquats, etc. prennent une place de plus en plus importante. En sus de la protection de l'homme, la protection de l'environnement peut être aussi requise de manière explicite.

L'évaluation des performances a été placée dans le contexte plus large d'un dossier de sûreté global. Ce dernier est défini comme l'intégration de tous les arguments et les preuves (y compris les résultats de l'évaluation des performances). Après quelques centaines d'années, les résultats de l'évaluation des performances (doses calculées/risques) perdent leur caractère prédictif et à des échéances plus lointaines doivent être seulement considérés comme des indicateurs de l'efficacité de l'isolement du stockage. Dans le cadre de l'élaboration d'un stockage et de son dossier de sûreté, un processus de prise de décision par étapes, souvent avec la possibilité d'une réversibilité des différentes étapes avant la fin de l'autorisation d'exploitation, est de plus largement acceptée. Les intervenants et le public en général doivent être impliqués dans ce processus. Ceci est un autre élément de progrès depuis Cordoue, où le dialogue s'établissait essentiellement entre les exploitants et les régulateurs.

Le principe de l'optimisation de la sûreté du stockage et de l'exposition au rayonnement potentiel est étroitement lié à ce processus décisionnel. L'idée

d'optimisation est similaire au principe ALARA appliqué en matière de radioprotection, mais il est aujourd'hui placé dans un contexte plus large, par exemple par des exigences pour l'application de l'état de l'art pour les techniques et les méthodologies et l'amélioration constante de la sûreté du système de stockage. Les dernières recommandations de la CIPR publiées en 2007 prennent en compte cette évolution en affirmant que l'optimisation de la protection est un processus itératif prospectif visant à prévenir ou réduire les expositions futures. Le traitement des incertitudes devrait être examiné de près. Il doit être montré dans le cadre du dossier de sûreté comment les incertitudes sont gérées (démonstration de robustesse). Le concept n'est, cependant, pas bien défini dans les réglementations nationales et certaines questions fondamentales demeurent.

Une gestion par étapes de la procédure d'autorisation est considérée comme une méthodologie efficace. Les étapes successives dans les procédures d'autorisation sont : la conceptualisation, le choix de site et la conception détaillée. À chaque étape de décision, l'état correspondant de la mise en œuvre du stockage doit être justifié par la préparation d'un dossier de sûreté. Les parties prenantes demandent que les « règles du jeu » pour le processus réglementaire soient établies le plus tôt possible. On constate une évolution montrant un abandon du modèle traditionnel « décider, annoncer et défendre » (DAD) avec son arrière-plan exclusivement technique pour adopter le modèle « s'engager, interagir et coopérer » (EIC), qui prévoit la participation du public en général. Le régulateur devrait maintenir un bon contact avec les parties prenantes et créer les conditions d'un dialogue.

Ce document est à jour à l'automne 2008. Depuis lors, trois nouveaux documents pour un usage public ont été publiés: (a) la déclaration collective de l'AEN de 2008 qui présente la situation actuelle du stockage géologique et récapitule les réalisations et enjeux pertinents, (b) en Janvier 2009, les régulateurs ont organisé un atelier important à Tokyo fondé en partie sur le présent document. L'atelier de Tokyo a approfondi la compréhension des questions réglementaires et a ouvert une nouvelle phase de travail basée sur l'interaction entre les régulateurs et la société; (c) un document se rapportant à l'optimisation des stockages en couches géologiques, qui a été initialement utilisé pour le débat au cours de l'atelier de Tokyo, est en cours de finalisation. En outre, un nouveau rapport international est maintenant à un stade avancé de la rédaction, à savoir, un nouveau standard de sûreté de l'AIEA sur les « déchets radioactifs » (projet actuel DS354).

7. REFERENCES

1. Joint CNRA/CRPPH/RWMC Workshop “Regulating the Long-term Safety of Radioactive Waste Disposal”. Proceedings of an NEA International Workshop held in Córdoba, Spain, 20-23 January 1997, OCDE, Paris, 1997. www.nea.fr/html/rwm/reports/1997/cordoba.html
2. Geological Disposal of Radioactive Waste, Safety Requirements Jointly Sponsored by The International Atomic Energy Agency and the OECD Nuclear Energy Agency, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-4, Vienna, 2006, www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1231_web.pdf
3. Canadian Nuclear Safety Commission – Commission canadienne de sûreté nucléaire (CNSC-CCSN): Regulatory Guide – Assessing the Long-Term Safety of Radioactive Waste Management, G-320, 2006. www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/G-320_FinalPaper_e.pdf
4. Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK, Finland): Long-term safety of disposal of spent nuclear fuel, STUK Guide YVL 8.4, 2001. www.stuk.fi/saannosto/YVL8-4e.html
5. The Swedish Nuclear Power Inspectorate’s Regulations concerning Safety in connection with the Disposal of Nuclear Material and Nuclear Waste (including General Recommendations concerning the Application of the Regulations). SKIFS 2002:1, March 2002. www.ski.se/dynamaster/file_archive/020627/059da393a73a96d33e260aab78a401ac/SKIFS2002%2d1eng.pdf
6. SSI (1998). The Swedish Radiation Protection Institute’s Regulations on the Protection of Human Health and the Environment in connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste. SSI FS 1998:1, September 1998. www.ssi.se/forfattning/PDF_Eng/1998-1e.PDF
7. SSI (2005), The Swedish Radiation Protection Authority’s Guidelines on the Application of the regulations (SSI FS 1998:1) concerning Protection of Human Health and the Environment in connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste. SSI FS 2005:5, September 2005, www.ssi.se/forfattning/pdf_eng/2005_5e.pdf

8. NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations, Part 60--Disposal of High-level Radioactive Wastes in Geologic Repositories, 1981, last amendment 2004, www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part060/
9. NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations, Part 63--Disposal of High-level Radioactive Wastes in a Geologic Repository at Yucca Mountain, Nevada, 2001, last amendment 2004, www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part063/
10. Der Schweizerische Bundesrat: Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 www.admin.ch/ch/d/sr/7/732.11.de.pdf
11. Direction de la sûreté des installations nucléaires, Règle Fondamentale de Sûreté III.2.f, Définition des objectifs à retenir dans les phases d'études et de travaux pour le stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde afin d'assurer la sûreté après la période d'exploitation du stockage - Juin 1991, www.asn.fr/sections/rubriquesprincipales/textes-reference/acces-par-type-texte/regles-fondamentales/guides-asn-rfs-relatifs/RFS_III2f/downloadFile/file/rfs_III_2_f.pdf
12. Bundesministerium des Innern (BMI): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk, GMBI. 1983, S. 220 www.bfs.de/de/bfs/recht/rsh/bmu
13. Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 197, Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain, NV; Final Rule, 2001, www.epa.gov/radiation/docs/yucca/66fr32074.pdf
14. Annals of the ICRP, Publication 81: Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste, Elsevier, 1998
15. Bechtel SAIC Company, LLC prepared for US Department of Energy: Total System Performance Assessment - Analyses for Disposal of Commercial and DOE Waste Inventories at Yucca Mountain – Input to Final Environmental Impact Statement and Site Suitability Evaluation, REV 00, ICN 02, December 2001 www.ocrwm.doe.gov/documents/sl986m3b/index.htm
16. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2004), *Post-closure Safety Case for Geological Repositories. Nature and Purpose*, NEA No. 3679, OCDE, Paris, www.nea.fr/html/rwm/reports/2004/nea3679-closure.pdf
17. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2008), *Safety Cases for the Deep Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?*, Symposium Proceedings 23-25 January 2007, NEA No. 6319, OCDE, Paris www.nea.fr/html/rwm/reports/2008/nea6319-safety.pdf

18. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2004), *The Handling of Timescales in Assessing Post-closure Safety. Lessons Learnt*, April 2002 Workshop in Paris, France. NEA No. 4435, OCDE, Paris.
www.nea.fr/html/rwm/reports/2004/nea4435-timescales.pdf
19. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN), Integration Group for the Safety Case (IGSC): Consideration of Timescales in Post-closure Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste, NEA/RWM/IGSC(2006)3
[www.oecd.org/olis/2006doc.nsf/LinkTo/NT00007642/\\$FILE/JT03220159.PDF](http://www.oecd.org/olis/2006doc.nsf/LinkTo/NT00007642/$FILE/JT03220159.PDF)
20. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2007), *RWMC Regulators' Forum (RWMC-RF), Regulating the Long-term Safety of Geological Disposal. Towards a Common Understanding of the Main Objectives and the Bases of Safety Criteria*, NEA No. 6182, OCDE, Paris.
www.nea.fr/html/rwm/reports/2007/nea6182-regulating.pdf
21. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2003), *The Regulator's Evolving Role and Image in Radioactive Waste Management. Lessons Learnt* within the NEA Forum on Stakeholder Confidence, NEA No. 4428, OCDE, Paris,
www.nea.fr/html/rwm/reports/2003/nea4428-regulator-role.pdf
22. F. Besnus, J. Vigfusson, R. Smith, V. Nys, G. Bruno, P. Metcalf, C. Ruiz-Lopez, E. Ruokola, M. Jensen, K.-J. Röhlig, P. Bodenez: European Pilot Study on the Regulatory Review of the Safety Case for Geological Disposal of Radioactive Waste, in 17,
www.grs.de/pilot_study/Paper_NEA_European_Pilot_Study.pdf
23. F. Besnus, J. Vigfusson, R. Smith, V. Nys, G. Bruno, P. Metcalf, C. Ruiz-Lopez, E. Ruokola, M. Jensen, K.-J. Röhlig: European pilot study on the regulatory review of the safety case for geological disposal of radioactive waste, EUROSAFE Forum 2006, "Radioactive Waste Management: Long-term Safety Requirements and Societal Expectations", Paris, 13-14 Nov. 06.
www.eurosafe-forum.org/products/data/5/pe_439_24_1_seminar2_02_2006_.pdf
24. ONDRAF/NIRAS (2001), Technical overview of the SAFIR 2 report – Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2, NIROND 2001-06 E, December 2001
www.nirond.be/engels/Safir2_eng.php
25. Ontario Power Generation, Nuclear Waste Management: Third Case Study – Post-closure Safety Assessment. Report No: 06819-REP-01200-10092-R00, March 2004
26. Safety Assessment of Spent Fuel Disposal in Hästholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara – TILA-99. VTT Energy, March 1999. POSIVA 99-07

27. Dossier 2005. Andra research on the geological disposal of high-level long-lived radioactive waste. www.andra.fr/interne.php3?id_rubrique=161
28. H17: Development and management of the technical knowledge base for the geological disposal of HLW, JNC TN1400 2005-022, 2005. www.jaea.go.jp/04/tisou/english/pdf/H17_KM_Report_E.pdf
29. Long-term Safety for KBS-3 Repositories at Forsmark and Laxemar – A First Evaluation: Main Report of the SR-Can Project. SKB Technical Report TR 06 09, Svensk kärnbränslehantering AB, October 2006, ISSN 1404-0344, www.skb.se/upload/publications/pdf/TR-06-09webb.pdf
30. Project Opalinus Clay – Safety Report, Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and longlived intermediate level waste (Entsorgungsnachweis), NAGRA Technischer Bericht NTB 02-05, Dez. 2002. www.nagra.ch/downloads/ntb_02_05/NTB%2002-05.pdf
31. Department of Energy (DOE) (2004), 2004 WIPP Compliance Recertification Application – Main Volume, DOE/WIPP 04-3231, March 2004. www.wipp.energy.gov/library/CRA/CRA_Index.htm
32. International Atomic Energy Agency (IAEA) (1997), Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Information Circular INF/546, Vienna. www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/1997/infcirc546.pdf
33. B. Baltés, A. Becker, A. Kindt, K.-J. Röhlig: Focus on Isolation and Containment Rather than on Potential Hazard: An Approach to Regulatory Compliance for the Post-Closure Phase, in NEA No 6319. <http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2008/ne6319-safety.pdf>
34. Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1999), Protection of the environment from the effects of ionizing radiation. A report for discussion, IAEA-TECDOC-1091 IAEA. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1091_prn.pdf
35. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2002), Ethical consideration in protecting the environment from the effects of ionizing radiation, IAEA-TECDOC-1270 IAEA. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1270_prn.pdf
36. International Commission on Radiological Protection (ICRP): A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species – ICRP Publication 91, Editor: J. VALENTIN Annals of the ICRP, Vol. 33, No. 3, 2003

37. L.-E.-Holm: Lecture on: New Results on Effects of Radiation on Man – the new ICRP recommendation, EU-Konferenz im Hotel Berlin, Berlin, 19. Juni 2007.
38. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (1999), *Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories – Its Development and Communication*, OECD, Paris.
www.nea.fr/html/rwm/reports/1999/confidence.pdf
39. HSK: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis Entwurf 18. März 2008 Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G03/d.
www.hsk.ch/deutsch/files/pdf/Anh_Richtlinie_G03_Mrz_18_2008.pdf
40. POSIVA: Safety Case Plan, 2008
POSIVA 2008-05, July 2008, ISBN 978-951-652-165-0 ISSN 1239-3096.
www.posiva.fi/publications/POSIVA%202008-05_28.8web.pdf
41. Environment Agency: Deep geological disposal facilities on land for solid radioactive wastes: guidance on requirements for authorisation - Draft for Public Consultation, 15 May 2008.
www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/gd_consultation_2052368.pdf
42. ASN: Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde, Version du 12/02/2008.
www.asn.fr/sections/rubriquesprincipales/textes-reference/acces-par-type-texte/regles-fondamentales/guides-asn-rfs-relatifs/RFS_III2f/downloadFile/file/Guide%20de%20s%C3%BBret%C3%A9%20relatif%20au%20stockage%20d%C3%A9finitif%20des%20d%C3%A9chets%20radioactifs%20en%20formation%20g%C3%A9ologique%20profonde.pdf
43. Environmental Protection Agency 40 CFR Part 197: Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain, Nevada; Final Rule, October 15, 2008.
www.epa.gov/radiation/docs/yucca/yucca_mtn_rule_fed_reg_version.pdf
44. International Commission on Radiological Protection (ICRP): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, Vol 37, Nos. 2-4, 2007.
45. International Commission on Radiological Protection (ICRP): Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste, ICRP Publication 46, Pergamon Press Oxford. New York. Toronto, Sydney. Frankfurt, 1985

46. International Commission on Radiological Protection (ICRP): 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, 1990.
47. United Nations: Report of The United Nations Conference on Environment and Development, Annex I, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992.
www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm
48. International Commission on Radiological Protection (ICRP) (1997), Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste, ICRP Publication 77, Annals of the ICRP Volume 27 Supplement.
49. Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1989), Safety Series No.99; IAEA: Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High-Level Radioactive Wastes, Vienna.
www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub854e_web.pdf
50. Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2006), IAEA Safety Standards Series No. SF-1, Fundamental Safety Principles, Safety Fundamentals, Vienna.
www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273_web.pdf
51. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (1999), *Progress Towards Geologic Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand? An International Assessment*, OECD, Paris.
www.nea.fr/html/rwm/reports/1999/progress.pdf
52. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (1999), *Geological Disposal of Radioactive Waste: Review of Developments in the Last Decade*, OECD, Paris.
53. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2004), *Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management Experience, Issues and Guiding Principles*, NEA No. 4429, OECD, Paris,
www.nea.fr/html/rwm/reports/2004/nea4429-stepwise.pdf
54. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2005), *The Regulatory Function and Radioactive Waste Management: International Overview*, NEA No. 6041, OECD, Paris.
www.nea.fr/html/rwm/reports/2005/nea6041-regulatory-function.pdf
55. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2008), *Regulating the Long-term Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste: Practical Issues and Challenges*, Workshop Proceedings, Paris, France, 28-30 November 2006, NEA No. 6423, OECD, Paris,
www.oecdbookshop.org/oecd/display.asp?lang=EN&sf1=identifiers&st1=978-92-64-04812-6

56. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2008), *A Collective Statement by the NEA Radioactive Waste Management Committee (RWMC)*, NEA No. 6433, OECD, Paris.
www.nea.fr/html/rwm/reports/2008/nea6433-statement.pdf
57. Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) (2000), *Regulatory Reviews of Assessments of Deep Geologic Repositories, Lessons Learnt*, OECD, Paris,
www.oecdbookshop.org/oecd/display.asp?CID=sourceoecd&LANG=EN&SF1=DI&ST1=5LMQCR2KDCJH
58. US Department of Energy (US DOE) (2008), License Application for a High-Level Waste Geologic Repository at Yucca Mountain,
www.nrc.gov/waste/hlw-disposal/yucca-lic-app.html

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

ISBN 978-92-64-99121-7 – NEA n° 6406