

Évacuation géologique des déchets radioactifs

Bilan des dix dernières années



© OCDE, 2000

© Logiciel, 1987-1996, Acrobat, marque déposée d'ADOBE.

Tous droits du producteur et du propriétaire de ce produit sont réservés. L'OCDE autorise la reproduction d'un seul exemplaire de ce programme pour usage personnel et non commercial uniquement. Sauf autorisation, la duplication, la location, le prêt, l'utilisation de ce produit pour exécution publique sont interdits. Ce programme, les données y afférentes et d'autres éléments doivent donc être traités comme toute autre documentation sur laquelle s'exerce la protection par le droit d'auteur.

Les demandes sont à adresser au :

Chef de la division des Publications
Direction des relations publiques et de la communication
2, rue André-Pascal
75775 Paris, Cedex 16, France.

Gestion des déchets radioactifs

**Évacuation géologique
des déchets radioactifs
Bilan des dix dernières années**

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

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

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

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

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

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

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1^{er} février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays Membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 27 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 tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

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

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

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

© OCDE 2000

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

AVANT-PROPOS

Le concept d'isoler de l'environnement humain les déchets radioactifs à vie longue en les plaçant dans des dépôts géologiques profonds remonte à plusieurs décennies. Depuis, les recherches réalisées dans le monde ont renforcé nos connaissances et notre compréhension du fonctionnement des systèmes de dépôts souterrains sur des périodes de temps très longues. On a également bien avancé vers la réalisation de ces installations. Cependant, les programmes d'évacuation des déchets radioactifs ont subi des retards dans plusieurs pays. Alors qu'approche le moment où le concept sera mis en œuvre, des voix s'élèvent depuis quelques années pour réclamer son ajournement et un examen plus approfondi des autres options de gestion des déchets. En revanche, la réflexion des groupes d'experts internationaux les a conduits à plusieurs reprises à confirmer la conviction des spécialistes de la gestion des déchets que l'évacuation géologique constitue une solution sûre qui respecte l'éthique et l'environnement et que les autres options de gestion constituent, au mieux, des compléments et non pas de vraies solutions de rechange à long terme. On trouvera une synthèse de ces réflexions notamment dans les Opinions collectives publiées par l'OCDE/AEN en 1985, 1991 et 1995.

Étant donné la valeur de ces Opinions collectives et la moisson de résultats engrangés en plusieurs années de développement et d'applications dans le cadre de projets de caractérisation des sites et d'évaluation des performances, le RWMC a, lors de sa session d'avril 1998, jugé opportun de vérifier, si les conclusions des Opinions collectives antérieures, en particulier de celle de 1991, sont encore valables ; ou si ces dernières doivent être revues ou élargies pour tenir compte de faits nouveaux et de l'expérience récemment acquise ; en outre, la question se pose de savoir s'il ne serait pas utile d'établir un nouveau document traitant de sujets techniques spécifiques, quand bien même les conclusions antérieures seraient encore valables.

Le présent rapport fait donc le tour des évolutions intervenues, notamment depuis la rédaction de l'Opinion collective de 1991, dans le domaine de l'évacuation en formations géologiques profondes et de la gestion des déchets à vie longue destinés à ce type de dépôts.

Les principales sources de données de l'étude sont les réponses à un questionnaire, fournies par les organismes s'occupant de la gestion des déchets dans les pays Membres du Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC) de l'AEN, ainsi que par l'UE et l'AIEA. Les discussions au sein du RWMC et une étude bibliographique, couvrant, en particulier, les résultats de réunions spécialisées, les programmes de conférences importantes, les numéros annuels du Bulletin de l'AEN sur les déchets nucléaires et les rapports des organisations internationales au cours de la dernière décennie, sont venus enrichir ces données.

Pour répondre aux besoins variés d'un lectorat élargi, ce bilan fait l'objet de deux rapports. Le présent rapport, qui s'adresse davantage au spécialiste, documente de manière approfondie les résultats de l'étude. Une version plus courte, destinée à la communauté plus large des décideurs, résume les conclusions de l'étude.

Ce rapport a été préparé pour le compte du RWMC par un groupe constitué de C. McCombie, C. Pescatore, P. Smith et A. van Luik et avec le concours de B. Rieger.

Note : La version originale de ce texte est en anglais. Les informations utilisées dans ce rapport ont été généralement arrêtées fin 1998.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
Note de synthèse	7
1. Introduction	13
Principales questions, objectif et objet de l'étude	13
Données et structure du bilan	14
2. Confiance dans l'évacuation en formation géologique	15
3. Progrès de l'évacuation en milieu géologique	17
Progrès techniques.....	17
Évolution de la législation et de la réglementation	22
Progrès et retards dans la réalisation des installations.....	25
4. Enseignements et conclusions	29
Actions nécessaires de la part des responsables de la gestion des déchets.....	29
La contribution internationale	36
Conclusions générales du bilan	38
Annexe 1 : Questionnaire	41
Annexe 2 : Présentation générale des réponses : Évolutions structurelles et organisationnelles, légales et réglementaires	49
A 2.1 Développement des programmes, stratégies.....	49
A 2.2 Législation / Réglementation	50
A 2.3 Organisation des établissements de gestion des déchets et des autorités responsables de la réglementation	53
A 2.4 Coûts et financement.....	54
Annexe 3 : Présentation générale des réponses : Fondements scientifiques et techniques	55
A 3.1 Conditionnement des déchets, conception et construction des dépôts.....	55
A 3.2 Caractérisation du site.....	57
A 3.3 Recours aux laboratoires de recherche souterrains	60
A 3.4 Utilisation des analogues naturels.....	65
Annexe 4 : Présentation générale des réponses : Évaluation des performances et analyses de sûreté	67
A 4.1 Progrès des évaluations des performances et des analyses de sûreté.....	67
A 4.2 Connaissance des composants du système.....	75
A 4.3 Traitement des incertitudes	77
A 4.4 Présentation des résultats des évaluations.....	78

A 4.5	Exploitation des résultats lors du choix du site, de sa caractérisation et de la conception du dépôt	79
Annexe 5 :	Références des Annexes 2 à 4.....	81
Annexe 6 :	Présentation générale des réponses : Communication et perception	89
A 6.1	Communication.....	89
A 6.2	Perceptions.....	92
Annexe 7 :	Textes essentiels figurant dans les opinions collectives de l'AEN.....	101
Annexe 8 :	Liste des abréviations.....	107

NOTE DE SYNTHÈSE

La plupart des pays qui produisent de l'électricité nucléaire progressent en direction du bouclage du cycle du combustible dans le cadre de programmes de gestion des déchets radioactifs dont l'objectif ultime est de placer les déchets à vie longue dans un dépôt en formation géologique, c'est-à-dire un dépôt souterrain aménagé à grande profondeur dans une formation rocheuse judicieusement choisie. Cette voie a été choisie à l'issue de vastes débats et discussions. D'autres solutions ont été envisagées, telles que l'enfouissement des déchets dans les fonds sous-marins et dans des forages ultraprofonds ou leur lancement dans l'espace. Mais elles sont apparues trop coûteuses ou trop risquées ou encore impraticables pour des raisons politiques ou juridiques. Les débats engagés dans le cadre des programmes de gestion des déchets remettent rarement en cause le fait que le dépôt en formation géologique soit le moyen privilégié pour évacuer les déchets à vie longue. Il s'agit plutôt de déterminer quand et où cette solution devra être mise en œuvre compte tenu des obligations éthiques à respecter et de la nécessité de réduire les risques présents et à venir, de garantir que les autres options soient étudiées comme il convient, d'associer largement de la société à ce choix et enfin de faire mieux accepter cette stratégie.

Aucun pays n'est jamais revenu sur sa décision d'enfouir les déchets en formation géologique, bien que certains aient pris du retard dans leurs programmes d'implantation ou contesté le choix d'un site. Cependant, les opinions exprimées par un large échantillon de spécialistes de la gestion des déchets dans le cadre du présent bilan confirment l'opinion générale selon laquelle l'évacuation en formation géologique constitue la seule méthode dont la faisabilité soit acquise pour isoler définitivement les déchets à vie longue de l'environnement humain. La confiance accordée à la faisabilité de dépôts géologiques présentant toutes les garanties de sûreté et de sécurité a été renforcée grâce à :

- la mise au point de concepts détaillés de dépôts dans de nombreux pays ;
- les progrès de la connaissance des processus influant sur la sûreté qu'ont permis la caractérisation des sites et la R&D ;
- la démonstration de la sûreté des concepts de dépôt par des méthodes rigoureuses d'évaluation de la sûreté ;
- la vérification de ces évaluations par des groupes d'experts nationaux et internationaux indépendants ;
- l'élaboration et, dans certains cas, la démonstration des technologies nécessaires à la réalisation des dépôts géologiques.

Au cours de la dernière décennie, les aspects techniques de l'évacuation en formation géologique ont marqué des progrès supplémentaires importants. D'une manière générale, la technologie nécessaire est disponible et peut être mise en œuvre dès que le public et les conditions politiques y seront favorables. Il est admis, cependant, que l'on dispose d'une assez maigre expérience de l'application de certaines de ces techniques et que les démonstrations et les tests devront se poursuivre pour affiner ces dernières. Une meilleure intégration des principaux aspects techniques des

projets de dépôts profonds, à savoir la conception des systèmes ouvragés, la caractérisation des sites de dépôts potentiels et l'évaluation des performances du système global, a facilité les avancées techniques. L'interdépendance de ces activités étant désormais un fait largement reconnu, on a mis en place des structures intégrées de gestion de projet favorisant les interactions entre ces différents domaines.

S'agissant de la compréhension des milieux naturels et de la caractérisation des sites potentiels, les progrès sont évidents. Les avancées concernent notamment les méthodologies et les procédures de mesure dans ce domaine ainsi que l'appréciation de l'hétérogénéité (variabilité spatiale) des milieux. Les connaissances ainsi acquises ont facilité la définition des critères techniques de sûreté permettant de juger de l'acceptabilité de roches hôtes potentielles. Dans certains programmes, la prise de conscience de la difficulté de caractériser complètement des milieux naturels hétérogènes, entre autres, s'est traduite, ces dix dernières années, par un intérêt accru pour les barrières ouvragées. La tendance de ces programmes est d'adopter des barrières ouvragées robustes, afin de compenser les difficultés liées à l'évaluation des performances des milieux naturels et d'accroître ainsi la fiabilité du système global. Les éléments de ces barrières ouvragées robustes doivent être de conception simple, dimensionnés de manière prudente, chimiquement compatibles avec les milieux naturels et fonctionnellement complémentaires de ces derniers. L'accent mis aujourd'hui sur la garantie supplémentaire que constituent les barrières ouvragées ne doit pas cependant faire oublier que l'environnement géologique demeure une composante clé de l'ensemble du système de dépôt profond. En fait, dans le cas des programmes portant sur des formations géologiques relativement homogènes, les barrières ouvragées auront essentiellement pour fonction de garantir la sûreté durant la phase d'exploitation du dépôt.

Du côté de l'évaluation des performances, notamment des méthodes d'analyse des systèmes de dépôt, les progrès sont notables. Les performances des composants des systèmes et leurs rôles respectifs sont beaucoup mieux compris. La modélisation quantitative de leur comportement, le traitement des incertitudes, la présentation des résultats des évaluations et l'intégration des connaissances acquises à la sélection et la caractérisation du site et à la conception des dépôts se sont aussi considérablement améliorées. À mesure que s'accumulaient les informations tirées de la caractérisation des sites, on a mis au point des méthodes formelles pour intégrer ces vastes jeux de données diversifiées dans des modèles d'évaluation des performances. Un effort significatif a été fait pour améliorer la fiabilité de ces méthodes, et on notera avec satisfaction que les conditions et démarches nécessaires pour atteindre ce que dans la littérature technique, on appelle « confiance » ou « validation » sont mieux appréciées. En particulier, on est conscient que le développement des dépôts est un processus graduel, ponctué par des décisions. Compte tenu des incertitudes inévitables à chaque étape, il n'est ni nécessaire ni possible de décrire complètement l'évolution du dépôt et de son environnement dans l'évaluation des performances. Il s'agit plutôt de veiller à ce que les arguments techniques présentés à l'appui de la décision en question, à savoir l'évaluation des performances assortie d'arguments justifiant la confiance qu'on lui accorde, soient adéquates pour la décision à prendre. En outre, une stratégie efficace permettant de traiter, aux cours des étapes ultérieures, les incertitudes susceptibles de compromettre la faisabilité et la sûreté à long terme doit être présentée.

Si, pour appuyer une décision positive, l'argumentation technique doit être consolidée, il est possible de modifier la conception du dépôt ou de changer de site, de façon à améliorer la robustesse du concept. On peut choisir également de renforcer la fiabilité des résultats de l'évaluation des performances par des améliorations et des tests des méthodes, modèles et données utilisés, et par l'application de procédures d'assurance-qualité (AQ) plus rigoureuses dans la R&D, ainsi que lors des décisions prises au cours des évaluations et lors des contrôles des jeux de données d'entrée-sortie. Les

laboratoires de recherche souterrains sont à cet égard très utiles. Les analogues naturels ou historiques sont aussi jugés afin de fournir une connaissance qualitative de certains processus clés. Il apparaît cependant que les analogues n'apporteront vraisemblablement pas les preuves incontestables sur lesquelles beaucoup comptaient.

Certains aspects de l'évaluation des performances sont encore en plein développement. Il s'agit notamment de l'intrusion humaine et de l'évolution de l'environnement en surface, ou biosphère, ces deux problèmes étant souvent traités de manière stylisée ou simplifiée. L'utilisation de tels traitements ne compromet pas nécessairement la confiance que l'on peut accorder aux résultats de l'évaluation des performances, dans la mesure où la documentation signale clairement que des simplifications ont été opérées et que, en raison des incertitudes irréductibles, les résultats de cette évaluation doivent être considérés comme des indicateurs du comportement du système plutôt que comme des prévisions des conséquences qui se produiront réellement dans l'avenir. En fait, cette manière de procéder est de plus en plus préconisée par les réglementations nationales. Si les résultats d'évaluations de la sûreté sont destinés à être comparés à des critères réglementaires, c'est à l'autorité de réglementation ou à d'autres décideurs pertinents qu'il revient de juger de l'acceptabilité d'une simplification. La conservation des informations relatives à la présence d'un dépôt sur une période prolongée peut minimiser la probabilité d'intrusion ou d'autres actions humaines perturbatrices. Au cours des dix dernières années plusieurs études ont été consacrées à l'archivage sur une période prolongée de telles informations.

Ce sont les instances réglementaires nationales qui pilotent, en se fondant sur les lois et la réglementation en vigueur dans le pays, l'évacuation des déchets radioactifs. Par ailleurs, les programmes nationaux de gestion des déchets bénéficient des collaborations internationales, qui donnent lieu non seulement à des échanges, à l'échelle planétaire, d'informations et d'expertise technique, mais aussi à l'établissement de normes de sûreté non contraignants, internationalement reconnues, et d'accords contraignants entre États. Plusieurs tendances se dégagent dans les législations et les réglementations nationales : les échelles de temps très longues (plus de 10 000 ans) ne peuvent être ignorées, mais nécessitent des traitements différents à mesure que le temps passe ; l'utilisation d'indicateurs de sûreté, en plus des estimations numériques des doses ou risques d'irradiation est préconisée, et les lois ou réglementations relatives à l'évaluation des déchets sont intégrées dans la réglementation générale sur l'environnement. Aujourd'hui pourtant le législateur se soucie encore peu de mettre en place des stratégies générales garantissant l'uniformité de la protection environnementale de la société. Par exemple, il est rare que des liens existent entre la réglementation des substances radioactives (qu'elles proviennent ou non de l'industrie nucléaire) et celle des déchets dangereux ou toxiques non nucléaires.

Ces dix dernières années on a accompli de réelles avancées sur la voie de la réalisation de dépôts. En Allemagne un dépôt à grande profondeur, destiné à recevoir des déchets de faible et moyenne activité a été réalisé (bien que son exploitation soit actuellement interrompue). En Suède, en Finlande et en Norvège, des dépôts de déchets de faible et moyenne activité, aménagés dans des formations à des profondeurs intermédiaires, sont actuellement en exploitation et, aux États-Unis, un dépôt géologique profond pour déchets à vie longue est entré en service en mars 1999. L'intérêt technique et social d'une démarche graduelle de planification, d'autorisation et de réalisation de dépôts a été reconnu. Des retards ont cependant été enregistrés, et l'opinion qui prévaut aujourd'hui dans la communauté technique est que le chemin critique vers la réalisation de dépôts dépend de moins en moins de la résolution de problèmes techniques et de plus en plus de la confiance du public dans le concept. L'attitude de la population d'un pays particulier vis-à-vis d'un projet d'évacuation des déchets est influencée par de multiples facteurs, dont le succès de projets comparables ailleurs. La réussite de

projets de dépôts de déchets dans des pays voisins peut avoir un grand poids. De ces considérations on tirera les leçons suivantes :

- Il est nécessaire de communiquer à un public plus large du consensus et la confiance qui existe parmi les spécialistes de la gestion des déchets concernant le concept et la faisabilité technique de l'évacuation en formations géologiques profondes.
- Les expertises indépendantes et les auto-évaluations internes continueront de fournir à la communauté technique des moyens satisfaisants de renforcer sa confiance dans les études de faisabilité et de sûreté des dépôts et de développer une « culture de sûreté » au sein des organismes de gestion des déchets. De plus, le fait d'accepter une expertise externe rehausse la réputation d'ouverture d'une organisation.
- Pour gagner la confiance d'un vaste public ou lui communiquer celle de la communauté des spécialistes, il est nécessaire de discuter de manière ouverte des avantages et des inconvénients de la surveillance à long terme, de la réversibilité du dépôt et de la possibilité de reprise des déchets ainsi que d'être disposé à procéder à de nouvelles évaluations comparées de l'évacuation en formation géologique et à d'autres options de gestion des déchets.
- Les avantages et les inconvénients de l'entreposage en surface de longue durée et ceux de la séparation et de la transmutation doivent en particulier faire l'objet d'un débat objectif, car ces deux stratégies bénéficient d'un soutien important aujourd'hui.
- Quel que soit l'avenir de l'énergie nucléaire dans le monde, le développement de dépôts profonds s'impose. Les grandes quantités de déchets existantes à ce jour dans les programmes civils et militaires doivent être évacuées de manière sûre. Néanmoins, le débat concernant l'évacuation des déchets est indissociable de la discussion en cours sur les stratégies énergétiques futures, qu'elles reposent sur l'utilisation de l'énergie nucléaire ou non.
- La gestion des déchets doit être placée dans un contexte social plus vaste. En particulier, il est probable que des questions comme la durabilité, la répartition équitable des risques potentiels et les réalités économiques prendront de l'importance étant donné l'intérêt qu'elles suscitent aujourd'hui dans le monde.
- L'adoption d'étapes discrètes, aisément contrôlables, qui permettent au public et/ou à ses représentants d'intervenir, est de nature à promouvoir la confiance du public et des décideurs politiques envers la sûreté des installations et la compétence des responsables de la réglementation et de la mise en œuvre des projets de dépôt.

Pour faire face à leurs besoins futurs, les spécialistes de la gestion des déchets adopteront des procédures et des méthodes spécifiques à leur pays ou programme. Cependant, la mise au point de ces procédures et méthodes et le développement des dépôts subiront l'influence d'évolutions intervenant ailleurs et gagneront en efficacité par l'échange d'idées au plan international. Il y a donc lieu de penser que, pour répondre aux besoins des organismes de gestion des déchets, l'apport des enceintes internationales demeurera important. L'échange d'idées et le partage des ressources dans le cadre de projets en coopération ont prouvé leur intérêt à la fois pour les gestionnaires de déchets et pour les responsables de la réglementation. Le dialogue et les projets en coopération réunissant, au niveau international, ces deux types d'organismes, offrent la possibilité :

- de mettre en évidence le large consensus qui existe au plan technique ;
- d'optimiser l'exploitation des ressources techniques et financières ;

- de clarifier les concepts clés de l'aménagement de dépôts ;
- de garantir que le développement des dépôts obéit à des principes équitables, et que cette activité soit aussi perçue comme équitable par les personnes extérieures au monde de la gestion des déchets ;
- d'œuvrer à l'élaboration d'une conception commune des exigences réglementaires pour différents types de déchets et risques environnementaux ;
- au minimum, de rationaliser les différences entre les directives réglementaires nationales.

Il est donc probable que les forums internationaux autorisant le dialogue et la collaboration entre parties concernées continueront de jouer un rôle important pour tous ceux qui travaillent sur la gestion des déchets. Même la forme la plus poussée de coopération internationale, à savoir le partage d'un dépôt international commun dans un pays hôte volontaire, revient de plus en plus souvent dans les discussions depuis quelques années.

Les conclusions générales formulées à l'issue de ce bilan sont les suivantes :

- Le développement des concepts d'évacuation géologique profonde a marqué des progrès importants ces dix dernières années, notamment en ce qui concerne les aspects techniques liés à la connaissance, la caractérisation et la modélisation quantitative des systèmes de barrières de sûreté naturelles et ouvragées.
- Aucune modification radicale de la stratégie ou des méthodologies appliquées ne s'est avérée nécessaire. Bien que des perfectionnements soient encore apportés, l'évacuation dans des formations géologiques profondes est une technologie qui a atteint un stade de maturité suffisant pour être mise en œuvre.
- Dans de nombreux programmes, on met davantage l'accent sur la contribution des barrières ouvragées, mais les barrières naturelles, ou géologiques, restent un facteur important de la sûreté à long terme des dépôts profonds.
- Tous les programmes nationaux continuent de considérer l'évacuation dans des formations géologiques profondes comme une technologie nécessaire et réalisable, même si certains pays souhaitent différer la réalisation des dépôts ou évaluer en parallèle d'autres options.
- Il existe une tendance générale à privilégier des approches prudentes, par étapes, dans la mise en œuvre des projets et la réglementation, de façon à favoriser un processus de décision sociale procédant par pas incrémentaux plus réduits. Des étapes discrètes, aisément contrôlables, facilitent la traçabilité des décisions, permettent au public et /ou à ses représentants d'intervenir et sont de nature à renforcer la confiance du public et des responsables politiques dans la sûreté de l'installation et la compétence des responsables de la réglementation et de la mise en œuvre des projets de dépôts.
- Bien qu'un dépôt géologique destiné aux déchets à vie longue soit maintenant en service, les calendriers envisagés il y a dix ans pour l'aménagement de dépôts dans des formations géologiques étaient trop optimistes. Les retards enregistrés sont partiellement dus à des problèmes opérationnels, mais tiennent surtout à des raisons d'ordre institutionnel, liées dans une large mesure au manque de confiance du public.
- Les spécialistes de la gestion des déchets sont parfaitement conscients de ce manque de confiance du public. Les gestionnaires de déchets et les responsables de la

réglementation doivent consentir des efforts pour communiquer efficacement aux décideurs et au public leur conviction commune qu'il est possible d'évaluer les déchets en toute sécurité.

- Les gestionnaires de déchets et les responsables de la réglementation sont plus disposés que jamais à tenir compte des souhaits du public, pourvu que ces derniers ne compromettent pas la sûreté des dépôts. Un objectif commun est l'établissement de stratégies et procédures associées autorisant la surveillance à long terme ainsi que la réversibilité du dépôt et la reprise des déchets. Ces questions sont désormais explicitement prises en compte dans un certain nombre de programmes.

D'autres moyens d'évacuer les déchets radioactifs ont souvent paru prometteurs avant que l'on n'en ait examiné tous les aspects. Plusieurs options originales ont été jadis étudiées, mais elles ne sont plus aujourd'hui envisagées sérieusement. Certains, pour diverses raisons, défendent avec force l'entreposage en surface de longue durée ainsi que la séparation et la transmutation. Les communautés en charge de la gestion des déchets ne considèrent cependant pas l'entreposage en surface de longue durée voire « d'une durée indéfinie » comme une réelle alternative à l'évacuation en formations géologiques. Au mieux, il s'agit d'un moyen de différer l'évacuation finale. La séparation et la transmutation ne sont pas non plus de véritables solutions de remplacement. Dans le meilleur des cas, ces techniques permettent de réduire le volume ou de modifier la distribution isotopique des déchets qui doivent être mis en dépôt profond.

Pour résumer l'état actuel de développement du concept d'évacuation dans des formations géologiques profondes, on peut affirmer que des progrès réels ont été, et sont encore, réalisés, grâce aux efforts déployés par de nombreux experts représentant diverses disciplines au sein de programmes nationaux et internationaux de gestion des déchets. Les avancées techniques et l'amélioration des relations sociétales ont pris plus de temps qu'on ne l'avait espéré, et la réalisation des dépôts profonds a subi des retards importants. Cependant, un dépôt a été mis en exploitation récemment, et plusieurs dépôts à grande profondeur approchent du moment de leur mise en service, bien que l'on ne puisse envisager d'exploiter la plupart des installations de ce type avant de nombreuses années. On peut espérer que le fonctionnement des premiers dépôts profonds dans de bonnes conditions redonnera confiance au public, et, ce faisant, facilitera la mise en œuvre des autres dépôts.

1. INTRODUCTION

Principales questions, objectif et objet de l'étude

En vue d'évaluer l'état actuel des programmes d'évacuation des déchets radioactifs de haute activité de ses pays Membres, de suivre l'évolution du consensus technique et d'orienter les activités futures, le Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC) de l'AEN, a approuvé, lors de sa session annuelle de mars 1998, la réalisation d'un *bilan critique de l'évolution, au cours de la dernière décennie, des arguments en faveur de l'évacuation géologique des déchets radioactifs*.

Ce bilan devait essentiellement répondre aux *questions* suivantes :

- La recherche d'un moyen techniquement sûr et approprié pour gérer les déchets radioactifs à vie longue progresse-t-elle ?
- En particulier, en quoi le dossier technique de l'évacuation géologique mais aussi son acceptabilité ont-ils évolué ?
- Quels sont aujourd'hui les principaux problèmes et questions qui conditionneront les développements futurs et l'acceptabilité de ce mode de gestion des déchets ?

Ainsi, s'agissant de l'évacuation en milieu géologique, le présent rapport examine l'état actuel et l'évolution :

- des progrès techniques,
- de la législation et de la réglementation,
- de la mise en œuvre des projets, et de sa relation à la confiance du public et l'attitude des responsables politiques,

dans l'*objectif* de résumer les expériences et opinions actuelles des organismes internationaux et des pays Membres de l'AEN sur les avancées techniques et l'état présent de leurs programmes d'évacuation dans des formations géologiques en :

- mettant en lumière les progrès réalisés et les échecs enregistrés au cours de la dernière décennie ;
- identifiant les problèmes importants qui ont été résolus ou soulevés mais non réglés ;
- identifiant les questions clés qui préoccupent aujourd'hui les spécialistes de la gestion des déchets radioactifs.

Ce bilan *comprend* un résumé et une évaluation réalistes des faits nouveaux intervenus dans les pays participants, dans les domaines de l'évacuation en formations géologiques profondes et de la gestion des déchets à vie longue destinés à être enfouis en profondeur. Ce bilan s'intéresse plus particulièrement aux faits intervenus depuis 1990, c'est-à-dire depuis la rédaction de l'Opinion collective de 1991, à laquelle il est fait référence dans le chapitre 2. Il porte principalement sur les évolutions *internes*, sous la responsabilité directe des spécialistes de la gestion des déchets, à savoir les

aspects techniques, opérationnels et réglementaires. Cependant, il fait aussi mention de certains faits *externes*, par exemple, les aspects financiers et politiques ainsi que la perception du public, qui ont une influence sur la progression des projets d'évacuation.

Ce bilan s'appuie sur les données fournies par des responsables des programmes et des spécialistes de la réglementation et des politiques, qui représentent un certain nombre d'organismes internationaux et de pays Membres de l'AEN, ainsi que sur une étude bibliographique. Ses résultats sont destinés à aider les responsables de la gestion des déchets, en général, et, en particulier, l'AEN à appréhender l'évolution de la situation sur la prochaine décennie et à proposer des actions et des initiatives constructives. Il s'adresse à un large éventail de responsables techniques et de décideurs. Pour cette raison, et aussi parce que le RWMC est pleinement conscient de l'importance que prennent des questions plus générales, liées à la confiance du public dans l'évacuation, ce bilan va au-delà des questions purement techniques.

Données et structure du bilan

Les réponses à un questionnaire, fournies par les organismes de gestion des déchets qui sont représentés au RWMC, dont la CE et l'AIEA, constituent la principale source de données de l'étude. Ce questionnaire est joint à l'annexe 1, avec la liste des organismes qui y ont répondu. De ces réponses se dégage un tableau détaillé des évolutions intervenues dans de nombreux domaines pertinents. Une étude bibliographique, couvrant en particulier les résultats d'ateliers spécialisés, les programmes des conférences importantes, les numéros annuels du Bulletin de l'AEN sur les déchets nucléaires et les rapports des organisations internationales des dix dernières années, ainsi que les discussions de versions antérieures du rapport au sein du RWMC, sont venues compléter ces données.

Les auteurs de ce rapport ont analysé les données fournies par les réponses au questionnaire et par les autres sources et les ont structurées pour établir une synthèse des informations clés.

- le chapitre 2 traite, en la résumant, de la question de la confiance qu'ont acquise les spécialistes de la gestion des déchets dans l'évacuation en milieu géologique ;
- le chapitre 3 décrit les progrès :
 - des divers domaines techniques de l'évacuation en formations géologiques ;
 - de la législation et de la réglementation ;et présente les avancées et les retards dans :
 - la mise en œuvre des dépôts en formations géologiques.
- le chapitre 4 dresse la liste des leçons à tirer de ce bilan, en particulier concernant la nécessité d'améliorer la confiance du public envers la sûreté du concept d'évacuation en milieu géologique. Il examine ensuite comment les enceintes et coopérations internationales peuvent efficacement répondre aux besoins futurs des spécialistes de la gestion des déchets ainsi que le rôle de l'AEN/RWMC dans ce contexte. Ce chapitre s'achève par une récapitulation des principales conclusions qui se dégagent de l'examen de la situation actuelle de l'évacuation géologique.

Le corps principal du rapport est complété par des annexes détaillant les réponses fournies par les multiples organismes consultés au questionnaire complet du RWMC.

2. CONFIANCE DANS L'ÉVACUATION EN FORMATION GÉOLOGIQUE

La plupart des pays qui produisent de l'électricité nucléaire progressent en direction du bouclage du cycle du combustible dans le cadre de programmes de gestion des déchets radioactifs dont l'objectif ultime est de placer les déchets à vie longue dans un dépôt en formation géologique, c'est-à-dire un dépôt souterrain aménagé à grande profondeur dans une formation rocheuse judicieusement choisie. Cette voie a été choisie à l'issue de vastes débats et discussions. D'autres solutions ont été envisagées, telles que l'enfouissement des déchets dans les fonds sous-marins et dans des forages ultraprofonds ou leur lancement dans l'espace. Mais elles sont apparues trop coûteuses ou trop risquées, ou encore impraticables pour des raisons politiques ou juridiques. Les débats engagés dans le cadre des programmes de gestion des déchets remettent rarement en cause le fait que l'évacuation en formation géologique soit le moyen privilégié pour évacuer les déchets à vie longue. Il s'agit plutôt de déterminer quand et où cette solution devra être mise en œuvre compte tenu des obligations éthiques à respecter et de la nécessité de réduire les risques présents et à venir, de garantir que les autres options soient étudiées comme il convient, d'associer largement la société à ce choix et, enfin, de faire mieux accepter cette stratégie.

L'idée d'isoler définitivement de l'environnement humain les déchets radioactifs en les évacuant dans des dépôts aménagés dans des formations géologiques profondes remonte à plusieurs dizaines d'années¹. Au terme de vastes débats et discussions internes, les spécialistes de la gestion des déchets sont en grande majorité convaincus que des dépôts correctement situés et conçus peuvent offrir des conditions de sûreté et de sécurité satisfaisantes quelles que soient les échelles de temps considérées et que l'évacuation dans des formations géologiques constitue la seule solution praticable pour isoler définitivement les déchets à vie longue de l'environnement humain. Pour ces spécialistes, l'évacuation en milieu géologique est une entreprise relevant de l'éthique que nous devons lancer dès aujourd'hui sans attendre que les générations futures s'en chargent. Ce point de vue se retrouve dans les Opinions collectives publiées antérieurement par le RWMC (annexe 7), dont le contenu peut être résumé en ces termes :

- 1985 l'évacuation dans des formations géologiques peut garantir la sûreté à long terme ;
- 1991 il existe des méthodes permettant d'évaluer la sûreté à long terme des dépôts aménagés dans des formations géologiques ;
- 1995 l'évacuation dans des formations géologiques se justifie d'un point de vue éthique et environnemental.

Bien que les déclarations antérieures puissent apparaître, avec le recul, optimistes, leurs conclusions fondamentales ont été réaffirmées par le premier rapport de l'IPAG (AEN 1997), tel qu'approuvé par le RWMC, qui spécifie que « ... les conclusions de l'Opinion collective AEN/AIEA/CCE (de 1991) sont toujours valables ».

1. Les considérations pratiques et éthiques font l'objet de discussions depuis déjà longtemps. On peut citer Scott K.G. (1950): « *Radioactive waste disposal – how it will affect man's economy ?* », In *Nucleonics*, vol. 6, N°1; Hatch L.P. (1953) : « *Ultimate disposal of radioactive wastes* », In *American Scientist*, vol. 41, N°3 et le rapport de référence publié par l'Académie des sciences des États-Unis en 1957 : « *The Disposal of Radioactive Waste on Land* ».

Dans de nombreux pays, des débats nationaux sur la démarche à suivre pour l'évacuation des déchets sont en cours. Ils s'appuient, dans certains cas, sur une étude générique d'impact sur l'environnement, comportant une évaluation des différentes solutions, ou sur des études de faisabilité, de sécurité et de sûreté de concepts d'évacuation en milieu géologique spécifiques. Il existe aussi quelques tentatives pour résoudre le débat en légiférant. Le cas des États-Unis, où une étude globale d'impact sur l'environnement² a permis d'évaluer des options très diverses, pour finalement recommander l'évacuation en formation géologique, illustre bien cette situation. C'est sur cette étude, financée par le gouvernement des États-Unis, que s'est appuyée la décision nationale de procéder à l'évacuation en formation géologique, qui figure dans la Nuclear Waste Policy Act de 1982 et ses amendements.

Aucun pays n'est jamais revenu sur sa décision d'évacuer les déchets en formation géologique, bien que certains aient pris du retard dans leurs programmes de réalisation ou contesté le choix d'un site. Certains pays se sont clairement prononcés pour cette option, par exemple le Royaume-Uni, dans son White Paper de 1995³, « prenant position en faveur de l'évacuation en formations géologiques profondes plutôt que de l'entreposage sur une durée indéfinie », par le Canada dans son « Cadre d'action pour la gestion des déchets radioactifs » de 1996 et par l'Espagne dans ses Programmes nationaux de gestion des déchets radioactifs (le dernier datant de 1994). Parfois, le soutien, plus indirect a pris la forme, par exemple, d'investissements dans des programmes complets d'évacuation, comprenant souvent la construction de grands laboratoires de recherche souterrains. Il arrive aussi que cette option trouve un appui implicite dans des recommandations, comme celle de 1998 de la CE préconisant à ses membres de « poursuivre les activités relatives à l'implantation, la construction, l'exploitation et la fermeture des dépôts de déchets de haute activité ». La confiance accordée au concept d'évacuation en milieu géologique se concrétise souvent par la volonté de poursuivre les travaux de la part des responsables de l'élaboration des politiques, de la réglementation et des agences de gestion des déchets. Enfin, les déclarations répétées de responsables de la réglementation, de gestionnaires de déchets et de membres des autorités de contrôle, réaffirmant ces dernières années que l'évacuation en formations géologiques profondes peut garantir le niveau de sûreté requis, témoignent du soutien dont bénéficie toujours ce mode de gestion.

L'examen des réponses fournies au questionnaire de l'AEN indique clairement que l'ensemble des sondés continue de soutenir l'évacuation dans des formations géologiques, bien que la législation française impose d'étudier en parallèle l'évacuation, l'entreposage et la transmutation. Les Pays-Bas sont cités par les adversaires de l'évacuation comme un exemple de pays ayant rejeté cette option. Les réponses au questionnaire permettent de relativiser ce rejet. Les Pays-Bas partagent l'opinion générale selon laquelle les dépôts aménagés dans des formations géologiques profondes constituent la meilleure option à long terme pour la gestion des déchets et peuvent offrir les niveaux de sûreté nécessaires, mais ce pays exige que les dépôts souterrains soient conçus de telle manière que l'on puisse récupérer les déchets si cela s'avérait nécessaire à l'avenir⁴. Même dans les pays où des forces résolument antinucléaires sont à l'origine de législations ou d'initiatives efficaces en faveur de l'abandon progressif du nucléaire (par exemple, la Suède, l'Allemagne et la Suisse), il est largement reconnu que l'évacuation en milieu géologique sera une nécessité.

-
2. « *Final Environmental Impact Statement – Management of Commercially Generated Radioactive Waste* », DOE/EIS-0046-F, United States Department of Energy, Washington, D.C., 1980.
 3. Review of Radioactive Waste Management Policy, Final Conclusions. Cm 2919, juillet 1995.
 4. Il s'agit de savoir alors dans quelle mesure il sera facile de reprendre les déchets à un moment donné sachant que, même dans le cas extrême où les déchets devraient être extraits d'un dépôt scellé, l'opération coûterait cher mais ne serait pas impossible à réaliser et pourrait être comparée à l'extraction de minerais toxiques. Voir également le chapitre 4.

3. **PROGRÈS DE L'ÉVACUATION EN MILIEU GÉOLOGIQUE**

Depuis le début des années 70, un certain nombre de pays ont lancé des programmes de développement du concept d'évacuation en formation géologique si bien que, à ce jour, la plupart des pays Membres de l'AEN disposent de programmes de ce type pour les déchets radioactifs à vie longue (voir, par exemple, la liste des organisations ayant répondu au questionnaire du RWMC à l'annexe 1). Des ressources considérables ont été investies pour transposer ce concept en réalité.

Au cours de la dernière décennie, la technique de l'évacuation en formations géologiques a marqué d'importants progrès (technologie de stockage, connaissance des milieux naturels, caractérisation des sites, compréhension des rôles des barrières naturelles et ouvragées, évaluation de la sûreté à long terme, démonstration de la fiabilité de l'évaluation de la sûreté et appréciation de l'importance de conserver les informations pour empêcher l'intrusion humaine). La législation et la réglementation ont également évolué.

Pendant cette période cependant, peu de changements *fondamentaux* sont intervenus dans les politiques, les structures de mise en œuvre des programmes d'évacuation ou réglementaires (annexe 2), voire dans la technologie. Ce constat n'implique pas que les progrès réalisés soient sans importance ; il démontre plutôt qu'une révision radicale des grandes décisions prises plus de dix ans auparavant ne s'est pas imposée.

Progrès techniques

Les progrès techniques ont été favorisés par une meilleure intégration des principales composantes techniques des projets d'évacuation dans des formations géologiques profondes, à savoir :

- la conception des dépôts ;
- la caractérisation des sites de dépôts potentiels ;
- l'évaluation des performances de l'ensemble du système.

Les interdépendances entre ces activités étant désormais largement admises, des structures intégrées de gestion de projets ont été mises en place afin de promouvoir l'interaction entre les différents domaines. En particulier, la stratégie de caractérisation des sites et de conception est davantage intégrée, et les études expérimentales et conceptuelles se concentrent sur les aspects susceptibles d'apporter une amélioration de la sûreté du système et de renforcer la confiance que l'on peut lui accorder.

On trouvera résumées ci-dessous les principales évolutions techniques⁵.

5. Les annexes 2, 3 et 4 contiennent une présentation générale des réponses au questionnaire concernant l'état et les tendances des progrès techniques dans ce domaine, enrichie de données provenant d'autres documents fournis en référence. On notera que, malgré certaines nuances dans l'appréciation de la disponibilité de la technologie et de la méthodologie de sûreté, il existe un large consensus sur l'ensemble des questions clés.

Technologie d'évacuation

D'une manière générale, la technologie nécessaire pour mettre des déchets en dépôts dans des formations géologiques (conditionnement des déchets, conception et construction des dépôts) est disponible et peut être mise en œuvre dès que le public et les conditions politiques y seront favorables. Néanmoins, certaines de ces technologies ont été relativement peu expérimentées. Par conséquent, les tests et les démonstrations se poursuivront, et l'on peut s'attendre à de nouveaux perfectionnements.

Dans les domaines du conditionnement des déchets, de la conception des dépôts et de leur construction, les progrès réalisés sont principalement dus à des améliorations graduelles des concepts et de la technologie disponible pour les mettre en œuvre. L'apparition de nouveaux concepts et les percées technologiques ont été relativement rares. En général, on a procédé par améliorations successives en s'efforçant de démontrer les concepts existants de manière plus rigoureuse. De plus en plus, l'accent est mis sur la démonstration de la faisabilité d'une fabrication fiable et sur la garantie des performances à long terme. L'idée que la technologie nécessaire pour évacuer des déchets dans des formations géologiques est disponible et peut être mise en œuvre dès que le public et les conditions politiques y seront favorables est partagée aujourd'hui par de nombreux partisans de l'évacuation en formations géologiques. Elle trouve une confirmation indirecte dans la conception largement répandue que la mise en œuvre de dépôts passe par la résolution de problèmes d'ordre sociologique.

Compréhension du fonctionnement des milieux naturels et caractérisation des sites

La compréhension des milieux naturels et la caractérisation des sites potentiels ont fait des progrès manifestes, portant notamment sur les méthodes et les procédures de mesure et sur l'appréciation des incertitudes et de l'hétérogénéité des milieux.

Les chercheurs ont continué d'affiner les techniques de mesure et de les tester sur des sites potentiels et dans des laboratoires de recherche souterrains. Les performances des méthodes et codes de traitement et d'interprétation ont été améliorées, de sorte que les données de terrain fournissent davantage d'informations pertinentes que par le passé. L'expérience a montré, malgré tout, que l'on peut aussi recueillir des données non concluantes exigeant la collecte de nouvelles données pour comprendre le milieu, c'est-à-dire pour réduire l'incertitude due à sa plus grande complexité par rapport aux hypothèses initiales. L'hétérogénéité est de plus en plus reconnue comme une propriété universelle de l'environnement géologique. Dans la caractérisation des sites, l'accent est mis depuis peu sur les besoins de l'évaluation de la sûreté et, en particulier, sur les éléments conducteurs d'eau et la circulation des eaux souterraines à travers ces éléments. L'écoulement de l'eau à travers ces éléments est en effet considéré comme le mécanisme le plus probable de transport vers la biosphère des radionucléides libérés par un dépôt. Les chercheurs se sont intéressés aussi à d'autres aspects de la caractérisation qui ont une forte influence sur l'évaluation de la sûreté, à savoir l'analyse hydrogéochimique et l'analyse du rôle des colloïdes, des matières organiques et des processus microbiens potentiels.

La spécification des critères techniques de sûreté qui conditionnent l'acceptabilité des roches hôtes potentielles a bien progressé (y compris dans le cas de la Suède, celle des critères d'acceptation applicables aux cavités de dépôts individuelles), bien que l'on ait, jusqu'à présent, accordé moins d'intérêt aux aspects de la caractérisation des sites dont dépend l'optimisation de la conception des dépôts.

Les critères techniques d'acceptabilité d'une roche hôte potentielle sont importants, notamment s'ils sont établis avant le lancement du programme de reconnaissance, parce qu'ils guident l'exécution du programme et mais aussi parce qu'ils peuvent démontrer de manière transparente qu'un

responsable de projet est prêt à abandonner un site si celui-ci s'avérait inacceptable, ce qui favorisera l'acceptation du projet par le public. Par ailleurs, ces critères, s'ils sont irréalistes ou trop simplistes, peuvent provoquer l'abandon d'un site en fait approprié, au sens où ce dernier serait capable de garantir la santé et la sûreté du public.

En résumé, les progrès de la connaissance des milieux naturels ont favorisé l'évolution de la caractérisation des sites, qui est passée d'une activité, relativement peu structurée, de collecte de données géologiques à une activité technique ciblée, visant à rassembler les informations indispensables à l'évaluation des performances d'un système de dépôt.

Rôles des barrières naturelles et ouvragées

Dans certains programmes, conscients de la difficulté de caractériser totalement les milieux naturels hétérogènes, les chercheurs, se sont intéressés de plus près, ces dix dernières années, aux systèmes de barrières ouvragées. La tendance de ces programmes est à l'adoption de systèmes de barrières ouvragées qualifiés de « robustes », permettant de contourner certaines difficultés inhérentes à l'évaluation des performances des milieux naturels et ainsi de renforcer la fiabilité du système global. Les composants de ces barrières ouvragées doivent être simples et dimensionnés de manière prudente, ils doivent également être chimiquement compatibles avec les systèmes naturels et assurer des fonctions complémentaires. L'accent mis actuellement sur les garanties supplémentaires apportées par les systèmes ouvragés ne doit cependant pas occulter le fait que l'environnement géologique demeure une composante clé du système de dépôt profond. En fait, dans le cas des programmes portant sur des formations géologiques relativement homogènes, le rôle des structures ouvragées se limitera probablement à assurer la sûreté pendant les phases d'exploitation du dépôt.

Avant de caractériser un site, il est parfois nécessaire de partir d'une vision plutôt idéalisée des caractéristiques du milieu naturel pour modéliser les performances du dépôt de sorte que la modélisation ne reflète pas les réalités et les incertitudes perçues lors de la caractérisation. En général, cela signifie que plus on avance dans l'étude d'un site, mieux on en connaît l'hétérogénéité et les incertitudes. Au cours des dix dernières années, l'aptitude des analystes à comprendre et à caractériser les systèmes hétérogènes a fait des progrès importants. On sait également qu'un système robuste de barrières ouvragées, compatible avec le milieu naturel, qui lui sera de plus fonctionnellement complémentaire, contrebalancera en partie les incertitudes résiduelles concernant le système naturel, en particulier dans le cas des dépôts aménagés dans une roche cristalline fracturée. Le milieu naturel protège le système de barrières ouvragées de l'intrusion humaine et des modifications rapides des conditions environnementales qui surviennent en surface ou à faible profondeur. Il fournit aussi un environnement favorable à une durée de vie prolongée des matériaux composant le système ouvragé. Il constitue par ailleurs un tampon physique et chimique qui ralentit la dégradation des conteneurs et les rejets de radionucléides qui s'ensuivent. Ainsi, la grande majorité des nucléides contenus dans les déchets ne quitte pratiquement jamais le lieu de stockage. Les rejets potentiels de radionucléides d'un système ouvragé bien conçu sont assez faibles et sont dilués par mélange avec les eaux souterraines au cours de leur migration à l'extérieur du dépôt. Beaucoup d'entre eux sont retardés en se déplaçant par des voies tortueuses et subissent une décroissance radioactive notable pendant leur cheminement. Néanmoins, l'importance actuellement accordée, dans certains programmes, au renforcement des garanties par des barrières ouvragées ne devrait pas faire oublier que le milieu géologique et hydrogéologique du dépôt demeure une composante essentielle du système global et que les incertitudes associées aux systèmes de barrières ouvragées ne doivent pas être négligées.

Évaluation de, et confiance en, la sûreté à long terme

Des progrès notables ont été accomplis dans le domaine de l'évaluation des performances, notamment pour ce qui concerne les méthodes d'analyse des systèmes de dépôts et le développement de modèles plus fiables intégrant les avancées de la connaissance et de la conception des systèmes de barrières naturelles et ouvragées.

S'agissant de l'évaluation des performances, les progrès concernent en particulier la compréhension des performances des composants des systèmes et de leurs rôles respectifs, la modélisation quantitative de leur comportement, le traitement des incertitudes, la présentation des résultats d'évaluation et la prise en compte du retour d'information dans la sélection du site, sa caractérisation et la conception du dépôt (chacun de ces points faisant l'objet d'une discussion détaillée dans l'annexe 3). Aujourd'hui, les codes probabilistes trouvent des utilisations plus raffinées, et l'on connaît mieux les points forts et les faiblesses des techniques d'évaluation probabiliste, par rapport à l'approche déterministe (AEN, 1997). Certains programmes font maintenant appel à une combinaison des deux méthodes.

De plus, pour pouvoir traiter de vastes jeux de données concernant le site, les méthodes plus formelles de réduction des données utilisées dans les modèles d'évaluation ont été améliorées. Bien que l'exploitation plus systématique de données provenant de sites réels (et la plus grande précision des spécifications de conception des dépôts) présente de nouvelles difficultés et nécessite davantage de ressources pour que les évaluations de performances antérieures, aucun problème incontournable n'a été rencontré lors de l'utilisation de ces méthodes d'évaluation.

De nombreux spécialistes ont perçu une amélioration de la compréhension des concepts de confiance/validation envers les résultats des analyses de performance. De l'avis général, il est impossible de décrire complètement l'évolution du système ouvert que constitue un dépôt et son environnement, car ces derniers ne peuvent être totalement caractérisés et sont susceptibles, en outre, de subir l'influence de facteurs naturels et induits par l'homme à l'extérieur des limites du système. Comme nous le verrons ultérieurement, cependant, il n'est pas indispensable de disposer d'une description complète pour prendre des décisions concernant la mise en œuvre d'un dépôt.

Rôle de l'évaluation des performances dans la prise de décision concernant la réalisation d'un dépôt

En général, le développement d'un dépôt s'effectue selon une démarche incrémentale, adaptable, comme le décrit plus précisément la section 3.3. La décision de passer ou non d'une étape à la suivante, si elle relève de la responsabilité de spécialistes et de dirigeants des agences de gestion ou des autorités réglementaires, exige des arguments techniques qui donnent confiance dans la faisabilité et dans la sûreté à long terme du concept proposé. D'une étape à l'autre, le niveau de compréhension et les informations techniques disponibles pour étayer les décisions sont en effet variables.

Il est admis que le processus décisionnel ne nécessite seulement que les arguments techniques pertinents pour la décision à prendre, à savoir l'évaluation de performances, assortie d'une argumentation destinée à convaincre de la fiabilité des résultats, et la mise en place d'une stratégie efficace pour traiter, ultérieurement, les incertitudes de nature à compromettre la faisabilité et la sûreté à long terme⁶.

6. *Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories, Its Development and Communication*, OCDE/AEN, Paris 1999.

Méthodes permettant d'accroître la confiance dans la sûreté déterminée par les évaluations de performances

Si pour appuyer une décision positive, on a besoin de consolider l'argumentation technique, il est possible notamment de modifier la conception du dépôt ou de changer de site, de façon à améliorer la robustesse du concept. On peut choisir également de renforcer la fiabilité des résultats de l'évaluation des performances par des améliorations et des tests des méthodes, modèles et données, et par l'application de procédures d'assurance-qualité (AQ) plus rigoureuses dans la R&D ainsi que lors des décisions prises au cours des évaluations et lors des contrôles des jeux de données d'entrée-sortie.

L'utilité des laboratoires de recherche souterrains est reconnue, de même que celle des analogues naturels, bien que ces derniers paraissent moins aptes à fournir des preuves concrètes que nombre de chercheurs ne l'espéraient. Les tests des principaux modèles d'évaluation des performances et bases de données dans le cadre des processus de renforcement de la confiance sont de plus en plus fréquents dans les programmes de travail des laboratoires souterrains dans le cadre des processus de renforcement de la confiance (voir annexe 3). Les analogues naturels sont un autre moyen d'acquérir la confiance nécessaire, mais des travaux complémentaires sont nécessaires pour pouvoir intégrer davantage les analogues dans les évaluations de performances.

L'évaluation des performances doit prendre en compte certaines incertitudes qui, bien qu'identifiables, sont impossibles, dans la pratique, à quantifier et à réduire (par exemple, le risque d'intrusion humaine et l'évolution de l'environnement en surface ou biosphère). Ces incertitudes sont souvent traitées de manière stylisée ou simplifiée.

Les traitements stylisés ou simplifiés ne compromettent pas nécessairement la confiance que l'on peut accorder aux résultats de l'évaluation des performances, dans la mesure où la documentation signale clairement que des simplifications ont été opérées et que, en raison des incertitudes irréductibles, les résultats de cette évaluation doivent être considérés comme des indicateurs du comportement du système plutôt que comme des prévisions des conséquences qui se produiront réellement dans l'avenir. Si les résultats sont destinés à être comparés à des critères réglementaires, c'est à l'autorité de réglementation ou à d'autres décideurs pertinents qu'il revient de juger de l'acceptabilité d'une simplification.

Conservation de l'information pour dissuader l'intrusion humaine

La conservation sur une période prolongée des informations relatives à la présence d'un dépôt a fait l'objet d'études théoriques. Par ailleurs, des mesures pratiques ont été prises pour éventuellement mettre en place l'archivage des données sur les déchets radioactifs stockés.

La conservation sur une période prolongée des informations relatives à la présence d'un dépôt peut contribuer à minimiser la probabilité d'une perturbation accidentelle du dépôt par intrusion ou d'autres actions humaines, entre autres. Un groupe de travail OCDE/AEN a étudié ces questions, et en particulier l'intérêt des systèmes de signalisation et des archives, et a publié ses résultats en 1995⁷. Ces aspects ont été en outre abordés dans une étude des pays nordiques en 1990, lors de la procédure d'autorisation de l'installation WIPP aux États-Unis et par l'AIEA⁸. Dans certains pays, il existe déjà des réglementations imposant que l'on conserve des descriptions des déchets affectés à un dépôt dans des archives après la fermeture du site. En outre, il est prévu dans la Convention commune sur la

7. *Future Human Action at Radioactive Waste Disposal Sites*, OCDE/AEN, Paris, 1995.

8. *Maintenance of Records for Radioactive Disposal*, AIEA, Vienne, 1998 (sous presse).

sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs (Section 3.2) que les États Membres établissent périodiquement un rapport sur les pratiques adoptées concernant les nouveaux sites de dépôts. Cette mesure pourrait constituer une première étape vers un archivage au niveau international des opérations d'évacuation des déchets radioactifs.

Évolution de la législation et de la réglementation

L'évacuation des déchets radioactifs s'effectue selon les orientations des instances réglementaires du pays, sur la base des lois et des réglementations nationales⁹. Par ailleurs, les programmes nationaux de gestion des déchets ont bénéficié des collaborations internationales, qui permettent non seulement des échanges à l'échelle planétaire d'informations et d'expertises techniques mais également l'établissement de normes internationales non contraignantes, internationalement reconnues, et d'accords contraignants entre États.

On trouvera résumées ci-après les évolutions intervenues tant au niveau national qu'international.

Consensus entre les responsables de la réglementation et gestionnaires de déchets sur les principales questions

Au début de l'année 1997, a eu lieu à Cordoue¹⁰ une réunion de l'AEN d'un intérêt considérable à laquelle ont pris part des responsables de la réglementation et des gestionnaires de déchets participant à une variété de programmes nationaux. L'originalité première de cette réunion tient au fait qu'elle était explicitement destinée à encourager le dialogue entre ces catégories d'intervenants. Il s'agissait notamment d'établir les véritables points de convergence, afin d'éviter de désorienter le public par des désaccords apparents pouvant tenir davantage à la sémantique qu'au fond. Les participants ont débattu des objectifs et critères applicables à l'évacuation des déchets et des tendances observées dans l'évaluation des performances et la conduite du processus réglementaire. S'agissant plus précisément des questions réglementaires en suspens, les participants se sont accordés sur les points suivants :

- Il est nécessaire de disposer d'éléments d'appréciation plus élaborés que les seuls critères de « rang élevé » de dose ou de risque.
- Le principe de base de la gestion des déchets, qui établit une équivalence entre la protection de l'environnement et la protection de l'humanité, est discutable.
- Les grandes échelles de temps (plus de 10 000 ans) ne peuvent être ignorées, et nécessitent des traitements différents à mesure que le temps passe.
- Il est nécessaire d'améliorer la communication entre les autorités réglementaires et les gestionnaires de déchets, ainsi que les relations avec des groupes plus larges.
- Les critères de délivrance des autorisations (soit « les règles du jeu ») doivent être formulés bien avant leur application. Ils peuvent légitimement inclure des approches simplifiées ou stylisées.

9. L'annexe 2 contient une présentation générale de la situation et des tendances de la législation et de la réglementation, établie d'après les réponses au questionnaire de l'AEN.

10. *Regulating the Long-term Safety of Radioactive Waste Disposal*, Cordoue, Espagne, 20-23 janvier 1997, Actes publiés et diffusés par le Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid, 1997.

- L'approche par étapes présente un intérêt tant pour les gestionnaires de déchets, que pour les responsables de la réglementation, les décideurs et le public.

Toutes ces conclusions se retrouvent clairement dans les réponses données par les représentants des pays Membres de l'AEN au présent questionnaire.

Normes de sûreté internationalement reconnues

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a publié des principes et des critères fondamentaux de radioprotection, applicables dans le monde. Depuis le début de la décennie, la CIPR a défini des principes de radioprotection applicables à un certain nombre de situations pratiques dans lesquelles on ne prévoit pas une exposition, sans pouvoir l'exclure pour autant, et a formulé des recommandations générales¹¹ sur les politiques à suivre et l'éthique à respecter dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs¹². Cette commission a également publié des avis qui s'appliquent en particulier à l'évaluation des performances des dépôts de déchets à vie longue, comme par exemple, les problèmes liés à l'évolution de la biosphère, la justification de l'exclusion de certains scénarii dans le dossier de sûreté présenté avec la demande d'autorisation et l'interprétation du principe selon lequel les générations futures doivent bénéficier de la même protection que les générations actuelles¹³.

En s'appuyant sur les travaux de la CIPR, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a publié des normes non contraignantes, internationalement reconnues, sur la sûreté des déchets radioactifs : les Normes de sûreté pour les déchets radioactifs (RADWASS). Ces normes sont destinées à établir une structure cohérente applicable aux documents de sûreté relatifs à la gestion des déchets et couvrent de manière exhaustive l'ensemble des sujets pertinents. Plus récemment, l'AIEA a mis en place un groupe de travail afin d'étudier les possibilités de trouver un consensus sur les questions liées à l'évacuation des déchets dans des dépôts géologiques profonds. Une fois cette étude achevée, ses résultats seront probablement utilisés, en association avec les recommandations de la CIPR, pour mettre au point de nouvelles normes de sûreté dans plusieurs pays.

Accords entre États

Au cours des dix dernières années, plusieurs États souverains ont conclu des accords sous les auspices de l'AIEA. Ces accords peuvent être considérés comme des composantes d'une structure mondiale, destinée à encourager les efforts de collaboration intergouvernementale dans le domaine de la sûreté nucléaire. S'agissant spécifiquement de l'évacuation des déchets radioactifs, la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs a été adoptée en 1997 et constituera, lorsqu'elle sera ratifiée, le premier instrument juridiquement contraignant dans ce domaine. L'application de cette Convention fera l'objet d'un suivi sous la forme d'examens par des pairs des rapports nationaux, réalisés à l'occasion de réunions d'examen des Parties contractantes.

-
11. Publication 64 de la CIPR : *Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework. A Report of a Task Group of Committee 4 of the International Commission on Radiological Protection*, Annals of the ICRP Vol. 23/1, 1993.
 12. *Publication 46 de la CIPR : Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste*, Annals of the ICRP Vol 15/4, 1986.
 13. *Publication 77 de la CIPR : Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste*. Annals of the ICRP Vol. 27 Supplement, 1998.

Tendances des législations et les réglementations nationales

La tendance des réglementations nationales est à l'utilisation d'indicateurs de sûreté en plus des estimations des doses de rayonnement ou du risque, et du recours à une approche simplifiée de l'évaluation des incidences à long terme.

Cette tendance est le reflet des discussions menées au plan international et du travail entrepris par la CIPR et l'AIEA pour surmonter la difficulté de démontrer que les objectifs de radioprotection et d'autres exigences de sûreté seront respectées dans un avenir lointain. Pour ce faire, les spécialistes ont proposé des indicateurs de sûreté autres que la dose de rayonnement ou le risque d'irradiation, comme les concentrations de nucléides dans l'environnement et leurs flux dans la biosphère, afin d'enrichir le dossier de sûreté et d'en rehausser l'intérêt pour différents publics. De plus, il est admis que, malgré l'absence d'arguments scientifiques pour interrompre les évaluations de la sûreté des dépôts à un instant arbitraire, les évaluations des performances réalisées sur des échelles de temps différentes, après la fermeture du dépôt, ne peuvent être de même nature. En particulier, comme les incertitudes augmentent avec le temps, il convient de considérer les résultats de ces évaluations comme des indicateurs de sûreté, plutôt que comme des prévisions réelles des incidences. Ces considérations ont amené les responsables de la réglementation à proposer des approches stylisées, approuvées par la communauté internationale, pour évaluer les incidences à long terme, par exemple, les concepts de groupes critiques et de biosphères de référence. Ces propositions ressortent des documents publiés par le groupe de travail de l'AIEA sur les principes et critères concernant l'évaluation définitive des déchets. En outre, le prochain rapport de la CIPR, « Radiological Protection Principles for the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste » devrait contenir des recommandations spécifiques sur ces questions.

On observe également une tendance à intégrer les lois et les réglementations nationales relatives à l'évacuation des déchets dans le cadre plus large de la réglementation sur l'environnement.

Dans de nombreux pays, il est obligatoire de procéder à une étude d'impact sur l'environnement pour les installations dont la construction ou l'exploitation peut avoir une forte incidence sur l'environnement¹⁴. Cette étude est réalisée par l'exploitant de la future installation ou par l'auteur de la proposition, et présentée au public pour commentaires. Cependant, elle laisse peu de place à des questions comme la durabilité ou l'adoption au niveau législatif de démarches globales, garantissant une protection environnementale uniforme contre les diverses sources de déchets radioactifs mais aussi contre les différentes formes de déchets dangereux, nucléaires et non nucléaires. En outre, bien que de nombreux pays assurent avoir veillé à la cohérence entre leur législation relative à l'évacuation des déchets radioactifs et leur législation environnementale, on connaît aujourd'hui peu de cas réels de réglementations objectives fondées sur le risque qui traitent de manière équitable tous les risques auxquels l'homme est exposé et permettent de le vérifier. Dans certains pays, par exemple, pour obtenir l'autorisation d'injecter des substances toxiques dans des trous de forage, le demandeur doit démontrer, en principe, que ces substances ne menaceront « jamais » les eaux souterraines, mais il n'est pas tenu de présenter, et de faire examiner de manière exhaustive, des analyses du comportement du système dans un avenir très lointain, ce qui est le cas pour les déchets radioactifs¹⁵.

14. Il s'agit, par exemple, des pays qui appliquent les directives pertinentes de la CE. Une analyse de la DG-XI consacrée aux études d'impact sur l'environnement et à l'application des directives pertinentes doit s'achever sous peu.

15. Codes of Federal Regulations, Protection of the Environment 40 Part 148, « Hazardous Waste Injection Restrictions ». Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration, Washington, DC. 1997.

Progrès et retards dans la réalisation des installations

Au cours de la dernière décennie, les responsables politiques ont pris conscience de la nécessité de l'évacuation géologique. Tous les pays reconnaissent qu'il leur incombe de trouver des solutions à leurs problèmes d'évacuation et de réels progrès ont été réalisés sur la voie de la réalisation de dépôts.

La gestion des déchets présente de nombreux exemples de progrès dans la mise en œuvre des étapes individuelles qui, ensemble, conduisent à l'objectif ultime de la mise en dépôt définitif. Chaque avancée non seulement nous rapproche du bouclage du cycle, mais contribue à renforcer la confiance du public en démontrant que les responsables de la gestion des déchets sont capables de sélectionner un site, puis d'aménager et d'exploiter de manière sûre des dépôts de ce type. Les progrès accomplis concernent notamment les domaines suivants :

- *Réalisation des installations de traitement et d'entreposage des déchets*

Les avancées les plus notables concernent les techniques d'entreposage à sec et la réalisation des installations d'entreposage centralisées pour le combustible usé et les déchets de haute activité.

- *Expérience de la caractérisation des sites*

Il y a dix ans, les données concernant des sites réels étaient rares, et les stratégies et méthodes de collecte des données beaucoup moins perfectionnées. Aujourd'hui, des programmes complets de caractérisation détaillée, comportant des recherches géophysiques, le creusement de nombreux forages, voire même l'évacuation de puits et rampes d'exploration, ont été menés dans plusieurs pays. La gamme des données géologiques, hydrologiques et géochimiques actuellement exploitables pour l'analyse des sites s'est considérablement élargie par rapport aux années 80.

- *Construction des laboratoires de recherche souterrains*

Outre qu'ils fournissent des bancs d'essai inestimables pour les méthodes pratiques et les modèles théoriques, ces laboratoires sont des moyens extrêmement efficaces de renforcer la confiance de tous ceux qui peuvent observer leur fonctionnement. L'annexe 3 établit une liste détaillée des nombreuses installations d'essai souterraines en service dans le monde.

- *Mise en service des installations d'évacuation à profondeur moyenne*

Les exemples qui viennent immédiatement à l'esprit sont les dépôts de déchets de faible et moyenne activité (FMA) actuellement exploités en Suède, en Finlande et en Norvège. Le seul fait que l'on mette des déchets radioactifs en dépôt dans des cavités souterraines constitue une preuve directe de la faisabilité de tels projets.

- *Construction imminente de plusieurs dépôts profonds*

L'aménagement d'un dépôt géologique pour les déchets à vie longue marquera une étape majeure dans l'histoire de l'évacuation géologique. Les adversaires de ce concept font valoir qu'aucune installation de ce type n'a été mise en service à ce jour. Les réponses initiales de la communauté nucléaire, à savoir qu'il n'y avait pas d'urgence ou que les durées de refroidissement nécessaires imposeraient de différer l'évacuation, ne tiennent plus. Les quantités de déchets refroidis accumulées dans certains pays justifient que l'on commence à les évacuer, même si, dans la plupart des cas, aucune mesure urgente ne s'impose étant donné les volumes concernés. En Allemagne, un dépôt géologique profond pour des déchets FMA a été mis en service à Morsleben, bien que son exploitation soit

actuellement interrompue. Le projet de dépôt géologique de déchets à vie longue actuellement le plus proche du stade de la mise en service complète est le Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) aux États-Unis. En mai 1998, l'EPA a autorisé le démarrage des opérations de stockage des déchets transuraniens dans cette installation, et, le 22 mars 1999, un tribunal américain a statué en faveur de la mise en service de cette installation. En outre, l'État du Nouveau Mexique est en passe de délivrer une autorisation de mettre en dépôt des déchets transuraniens chimiquement dangereux (« déchets mixtes ») et a accepté que certains déchets entreposés en dépôt à Los Alamos ne soient pas considérés comme des déchets mixtes. Les transports de déchets transuraniens à destination du WIPP ont commencé en mars 1999. La « Viability Assessment » du site de Yucca Mountain a été publiée en décembre 1998 pour être soumise au Congrès. Il est prévu de recommander un site en 2001, et, si la recommandation concerne Yucca Mountain, la demande d'autorisation devrait être déposée en 2002.

Il nous a paru être intéressant de recueillir les points de vue des responsables de la gestion des déchets sur les évolutions les plus positives dans ce domaine au cours des dix dernières années. C'est à cette fin qu'ont été formulées certaines questions du questionnaire diffusé par l'AEN. Le tableau 6.3 à l'annexe 6 montre clairement l'importance de faire progresser les projets au grand jour. Les progrès cités par les participants ont un effet positif, non seulement sur le programme national en question, mais également à l'étranger, ce qui prouve encore une fois l'existence de fortes connexions internationales dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.

Bien sûr, ces jugements positifs émanent de spécialistes de la gestion des déchets et non du public. En outre, il existe la face négative de ces évolutions – tenant principalement à la difficulté de gagner la confiance du public, indispensable pour que les programmes d'évacuation des déchets puissent passer à la phase d'identification de sites spécifiques et de construction des installations.

Les responsables reconnaissent l'intérêt d'une démarche par étapes pour la planification, la délivrance des autorisations et la construction des dépôts.

Du fait de la nouveauté et de la complexité de la tâche qui consiste à aménager les dépôts, il est impossible d'englober dans une seule étape la planification détaillée, la délivrance des autorisations et l'aménagement du dépôt. Il convient plutôt d'appliquer une procédure souple, pas à pas, qui permette un développement progressif de la confiance, à mesure que l'on acquiert des informations et de l'expérience. L'intérêt de cette démarche par étapes tient non seulement à ces raisons objectives, techniques et organisationnelles, mais également au fait que la décision sociale exige des étapes plus réduites. Bien que la plupart des projets prévoient un long processus graduel de développement, depuis les études génériques et spécifiques au site, jusqu'à la mise en œuvre du dépôt, l'interprétation qui est faite du processus par étapes varie selon le pays. Une définition plus claire de sa signification pratique serait souhaitable. Normalement, cette démarche comporte un certain nombre d'étapes de développement, marquées par des décisions interdépendantes concernant, par exemple, l'entreposage en surface, le choix du site, la conception du dépôt, l'évaluation de la sûreté, la caractérisation du site, l'octroi des autorisations pour la construction, l'exploitation et la fermeture¹⁶, le scellement et la surveillance après fermeture du site. Des étapes discrètes, facilement contrôlables, facilitent la

16. Aux États-Unis, une procédure d'autorisation unique est prévue, mais le développement des projets d'évacuation suit néanmoins une démarche par étapes. À l'appui de la demande de permis de construire, les responsables du projet présentent le dossier de sûreté. Ce dossier est mis à jour une première fois avant que ne démarrent les opérations de stockage, puis une seconde fois avant la modification du permis indispensable pour pouvoir sceller le dépôt. Tout au long de cette période, des recherches et des évaluations périodiques des performances sont réalisées.

traçabilité des décisions, permettent aux responsables de la réglementation ou au public d'intervenir, sont de nature à susciter la confiance du public et des décideurs politiques quant à la sûreté d'une installation et aux compétences des responsables de la réglementation et des maîtres d'œuvre d'un projet d'évacuation. Une démarche par étapes peut aussi inspirer la confiance, dans la mesure où elle laisse le temps d'observer le comportement du système sur des périodes prolongées (« opérations de démonstration »). Il convient de noter que, dans des sociétés très procédurières, des dépassements de calendriers et budgets, au delà de ce qui est nécessaire à la réalisation des objectifs techniques et sociaux, risquent d'être le prix à payer pour une procédure par étapes, extrêmement formalisée ou réglementée.

Il est largement admis que les projets d'évacuation des déchets dans des dépôts profonds doivent non seulement être acceptés par la communauté technique mais aussi recueillir la confiance du grand public. La défiance du public a contribué pour beaucoup aux retards accumulés récemment et pourrait s'avérer l'obstacle le plus important à l'aménagement des dépôts profonds.

Bien que les responsables de la gestion des déchets et de nombreux organismes chargés de l'élaboration des politiques soient conscients que l'évacuation géologique constitue le moyen privilégié d'isoler définitivement les déchets à vie longue de l'environnement humain, et malgré les progrès techniques réalisés, les délais dans lesquels la plupart des gestionnaires de déchets espèrent ou souhaitent, exploiter des dépôts profonds ont augmenté par rapport à ce qui était fixé il y a 10 ans. Ces retards peuvent résulter de la nécessité d'apporter des améliorations technologiques et scientifiques supplémentaires, mais sont couramment associés aux difficultés rencontrées pour convaincre le public et recueillir un soutien politique. Les conclusions de la Commission d'évaluation environnementale du concept canadien de gestion et de mise en dépôt des déchets de combustible nucléaire jugeant que la sûreté technique était démontrée, mais que le manque de confiance du public justifiait l'adoption de démarches complémentaires, illustrent bien cette situation. L'une des difficultés pour tous les intervenants consiste à déterminer à quel moment la confiance de la société sera suffisante. Dans la plupart des pays, la gestion des déchets préoccupe essentiellement des groupes d'intérêt de bords opposés, le grand public restant assez indifférent. Faute de définir en quoi consiste une large adhésion de la société, il manquera aux gestionnaires de déchets un étalon pour mesurer les progrès réalisés sur cette voie et les gouvernements seront privés des guides dont ils ont besoin pour définir leurs politiques.

Parmi les facteurs spécifiques qui expliquent ces délais plus longs, on retiendra :

- des retards imprévus dus à des changements de la politique gouvernementale ou à des procédures d'examen réglementaire ou public (par exemple, au Royaume-Uni, en Suède, en Suisse, en Allemagne, au Canada et aux États-Unis)¹⁷ ;
- un mouvement général en faveur de la démarche par étapes, comportant une phase de reprise des déchets mis en dépôt (par exemple, en Suède, en Suisse et aux États-Unis) ;
- de nouvelles pressions pour que soient examinées des « solutions de remplacement » comme la séparation et la transmutation.

On prétend, par exemple, que l'échec de l'enquête publique a fait reculer le programme britannique de « plusieurs décennies » et que celui du référendum en Suisse a retardé de nombreuses années le programme d'évacuation géologique des déchets de faible et moyenne activité. Les

17. Suivant une évolution tout à fait inverse, certains pays, comme la République tchèque, ont entrepris d'établir des programmes de gestion des déchets de haute activité qui, grâce à la coopération internationale, pourraient progresser rapidement.

ambitieux programmes suédois et américains ont subi des retards de l'ordre de plusieurs années et, au Canada, les incertitudes quant à la suite des événements ont conduit à différer les dates de référence pour l'évacuation profonde de plusieurs années, voire de dizaines d'années.

Au Canada, une Commission d'évaluation environnementale indépendante a formulé, des recommandations concernant les responsabilités, le financement et la démarche à privilégier en matière de gestion et l'évacuation à long terme des déchets de combustible nucléaire que le gouvernement a accepté dans leur majorité. Dans tous ces domaines, la question de la confiance de la société devra être soigneusement prise en compte. En particulier, il est prévu de constituer un fonds séparé pour la conception et l'implantation des installations en fonction de la démarche privilégiée pour la gestion des déchets nucléaires, dont l'évacuation en formations géologiques. La Commission a notamment conclu que, si la sûreté du concept est techniquement démontrée, ce concept ne jouit pas de l'un appui du public suffisant pour autoriser le passage immédiat à la phase d'implantation.

Au Royaume-Uni, après le refus de délivrer l'autorisation d'installation d'un laboratoire de recherche souterrain à Sellafield, on attend une décision gouvernementale recommandant et définissant, dans leurs grandes lignes, les prochaines étapes du processus de mise en œuvre de l'évacuation des déchets radioactifs.

En France, la loi ne fait pas obligation de prendre une décision concernant la stratégie de gestion des déchets avant 2006, à l'issue de 15 années consacrées à l'étude parallèle de trois options : évacuation, entreposage et séparation/transmutation. Le gouvernement a cependant décidé de confirmer le projet de construction de deux laboratoires de recherche souterrains. Un nouveau site dans la roche cristalline devra être recherché et proposé dans un délai de trois ans, selon le même processus volontariste qu'auparavant. Il est envisagé d'utiliser un troisième site (le site du Gard) pour des recherches sur l'entreposage en subsurface.

En Allemagne, malgré les travaux considérables effectués sur les sites de Gorleben et de Konrad, le nouveau gouvernement fédéral, tout en reconnaissant la nécessité de construire un dépôt géologique pour l'évacuation définitive des déchets, reconsidère l'emplacement de ce dépôt et le calendrier de son aménagement.

Le Parlement néerlandais a décidé de différer l'évacuation dans des dépôts géologiques et de ne soutenir que les travaux autorisant une reprise totale des déchets à toutes les échéances futures prévisibles.

De tels retards posent des problèmes pratiques pour la réalisation des programmes nationaux. On redoute notamment de perdre certaines compétences techniques et de ne plus disposer d'un financement adéquat, si les fonds ne sont pas conservés pour leur usage prévu sur la période correspondant au retard. En outre, en l'absence d'un moyen d'évacuation définitive, les déchets continueront de poser des problèmes nationaux qui, s'ils ne sont pas résolus, seront transmis aux générations futures. Or ces dernières n'auront pas bénéficié de l'électricité nucléaire dont la production est à l'origine du combustible utilisé et des déchets retraités actuels. On y verra une contradiction évidente avec le principe d'équité entre les générations.

Néanmoins, malgré ces retards, aucune nation n'est revenue sur sa décision de continuer sur la voie de l'évacuation en formations géologiques, et le consensus pour juger ce mode d'évacuation comme la seule technique possible pour isoler définitivement les déchets à vie longue de l'environnement humain reste entier.

4. ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSIONS

Actions nécessaires de la part des responsables de la gestion des déchets

Le soutien dont bénéficie l'option de l'évacuation en formations géologiques auprès des spécialistes de la gestion des déchets repose, en partie, sur leur confiance dans la possibilité technique d'exploiter des dépôts dans des conditions de sécurité et de sûreté suffisantes. Comme nous l'avons vu au Chapitre 3, de nombreux pays ont mis au point des concepts de dépôt, ont développé la technologie nécessaire à leur réalisation et sont parvenus à comprendre les processus qui influent sur la sûreté, grâce à la caractérisation des sites et aux travaux de R&D. L'application de méthodes d'évaluation de la sûreté rigoureuses¹⁸ a permis de démontrer la sûreté de ces concepts. Dans de nombreux cas, ces évaluations ont fait l'objet d'un examen indépendant.

Le consensus technique qui règne parmi les spécialistes quant aux avantages de l'évacuation en formations géologiques n'est pas partagé sans réserve par le grand public ni d'autres intervenants dans la société qui influencent les décideurs en général. Il est largement admis, au sein de la communauté technique, que le chemin critique vers la réalisation de dépôts dépend davantage du manque de confiance du public et d'adhésion politique vis-à-vis du concept que de problèmes techniques non résolus.

On peut tirer de l'exploitation du questionnaire les leçons suivantes :

(i) Il est nécessaire de témoigner du consensus et de la confiance des spécialistes de la gestion des déchets concernant le concept et la faisabilité technique de l'évacuation en formations géologiques et de les communiquer à un public plus large.

Les techniciens concernés par la plupart des activités sont les responsables de la réglementation et les gestionnaires de déchets et doivent parvenir à un consensus sur la sûreté de l'évacuation avant de pouvoir espérer gagner la confiance du public et recueillir l'adhésion politique. Il s'agira notamment de mettre en évidence et de divulguer à l'extérieur de la communauté des spécialistes de la réglementation et de la gestion les faits suivants :

- la nécessité d'intégrer l'évacuation en formations géologiques aux programmes de gestion des déchets fait l'objet d'un net consensus ;
- la faisabilité technique et la sûreté d'un dépôt convenablement conçu et implanté inspirent largement confiance ;

18. L'annexe 3 fait référence à de nombreuses évaluations de sûreté intégrées de projets d'évacuation. Dans une étude coordonnée par l'AIEA en 1998, des méthodes similaires ont été appliquées à d'autres domaines que l'évacuation en milieu géologique, par exemple à la situation radiologique sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa.

- des procédures claires ont été ou sont, proposées, pour la mise en place du processus graduel de choix des sites et d'aménagement des dépôts ;
- la meilleure manifestation de ce consensus et de cette confiance sera l'exploitation sans problème d'un ou de plusieurs dépôts.

Dans un pays donné, il n'est pas douteux que la confiance du public dans un concept de dépôt bénéficiera du succès de projets comparables dans d'autres pays, en particulier s'il s'agit de pays voisins. Les événements, positifs ou négatifs, qui interviennent dans un pays influent assurément sur les attitudes des autres pays. Comme exemple d'influence négative, on peut évidemment citer Tchernobyl. L'exemple positif récent qui vient immédiatement à l'esprit est l'homologation de l'installation WIPP.

(ii) Les expertises indépendantes et les auto-évaluations internes resteront, pour la communauté technique, des moyens précieux de renforcer sa confiance dans les études de faisabilité et de sûreté des dépôts et de développer une « culture de sûreté » au sein des organismes de gestion des déchets. De plus, le fait de se prêter à des expertises rehausse la réputation d'ouverture d'une organisation.

Au cours de la dernière décennie, nombreux ont été les programmes et études qui ont fait l'objet d'expertises indépendantes de la part d'équipes de stature internationale et d'auto-évaluations. L'AEN et l'AIEA, entre autres, ont organisé des expertises indépendantes qui apportent :

- pour l'organisation demandant l'examen, la confiance dans la qualité (ou autre) et la pertinence de son travail et des conseils sur l'orientation future que ce travail devrait prendre,
- pour les décideurs, la confiance dans l'ouverture de l'organisation au regard extérieur.

De plus, ceux qui participent à ces expertises en retirent des enseignements sur les démarches et réalisations d'une organisation autre que la leur.

L'auto-évaluation, au sein d'une organisation, peut élargir la perception qu'a le personnel des objectifs à atteindre et des moyens pour y parvenir, en particulier pour ce qui touche la sûreté. Elle peut aussi favoriser la communication dans l'organisation en question¹⁹.

(iii) Une plus forte participation du public et une meilleure communication s'imposent. Il est possible, pour ce faire, de découper la planification, la procédure d'autorisation et la réalisation des dépôts en étapes discrètes, aisément contrôlables, permettant aux responsables de la réglementation et au public d'intervenir et de nature à renforcer la confiance que le public accorde à la sûreté et aux responsables de la mise en œuvre des projets et de la réglementation.

Les gestionnaires de déchets, comme les responsables de la réglementation, sont habitués à soumettre leurs dossiers techniques aux décideurs et même aux hommes politiques. Ils sont, les uns comme les autres, conscients que la participation du public est aujourd'hui primordiale. En général, ils se font une idée réaliste, voire pessimiste, de leurs résultats réels ou potentiels dans ce domaine sensible. Pour satisfaire la demande des programmes nationaux, il est essentiel de faire porter la réflexion sur la recherche de moyens efficaces de communiquer avec le public et de le convaincre que des solutions nationales appropriées sont développées. Les moyens de faire intervenir le public dans les processus de planification et de réalisations sont divers et multiples. De nombreux pays ont adopté

19. Bulletin de l'AIEA, 40/2/1998.

un processus graduel pour l'aménagement des dépôts. Cette pratique reflète une aversion prononcée du public pour de grandes étapes irréversibles. En Suisse, par exemple, l'une des principales raisons de l'échec du référendum concernant le site du Wellenberg tient à ce que le public aurait préféré que le permis de construction soit délivré, dans un premier temps, pour une galerie d'exploration, et non pour le dépôt final.

Le problème de la communication, vers le grand public et les décideurs, des arguments en faveur de l'évacuation en formations géologiques est abordé à l'annexe 4. Le succès des efforts réalisés à ce jour est considéré comme discutable. On trouvera ci-dessous plusieurs moyens d'améliorer la confiance du public :

- des communications à différents niveaux, en faisant preuve, à tout moment, d'une ouverture totale ;
- un processus de décision clair, accordant des rôles bien définis aux gestionnaires de déchets et aux responsables de la réglementation et évitant les contradictions entre réglementations qui, dans l'idéal, tiendraient compte des niveaux de risque couverts par d'autres réglementations, nucléaires et non nucléaires ;
- l'utilisation maximale des diverses procédures permettant de faire intervenir le public dans la planification et le développement des dépôts.

Les organismes de gestion des déchets espèrent notamment que la démonstration de la volonté des responsables de la mise en œuvre des projets de prendre au sérieux toutes les inquiétudes pertinentes du public finisse par emporter sa confiance. Le public a prouvé sa capacité de bloquer des propositions concernant le nucléaire dans certains pays (ou du moins de provoquer leur révision totale), et il est clair qu'en dessous d'un certain seuil d'adhésion des populations, les projets de dépôt n'ont aucune chance d'aboutir.

(iv) Susciter et communiquer à un plus large public la confiance dans l'évacuation en formations géologique passe par un dialogue ouvert sur les avantages et les inconvénients de la surveillance à long terme, de la réversibilité du dépôt et de la possibilité de reprise des déchets, ce qui suppose que l'on soit disposé à revoir l'argumentation en faveur de l'évacuation en formations géologiques par rapport aux autres options de gestion des déchets proposés.

Bien qu'une grande majorité des spécialistes de la gestion des déchets considère l'évacuation dans des dépôts géologiques comme une voie conforme à l'éthique, susceptible de résoudre définitivement le problème des déchets, un autre argument éthique invoqué consiste à dire qu'il est préférable de laisser aux générations futures le maximum d'options possible. D'après cette thèse, l'évacuation – qu'une bonne partie du public et certains décideurs jugent capables d'alléger le fardeau supporté par les générations futures au prix d'une moindre souplesse – devrait être différée ou mise en œuvre de façon à garantir le maintien d'une surveillance et, si nécessaire, de la réversibilité du dépôt et des possibilités de reprise des déchets.

Dans la pratique, les organismes de gestion des déchets s'intéressent de plus en plus à la réversibilité des dépôts et à la reprise des déchets. L'encadré 1 résume la finalité de ces opérations, avec des exemples d'évolutions nationales récentes dans ce domaine.

Cadre 1 : Surveillance, réversibilité du dépôt et possibilité de reprise des déchets

La réversibilité peut être l'un des objectifs de la gestion des déchets. Dans la mesure du possible, les déchets ne doivent pas être conditionnés sous une forme qui interdise de profiter des progrès technologiques futurs. Il convient de ne pas choisir définitivement un site, tant que différentes options n'ont pas été explorées. La conception du dépôt ne doit pas être gelée trop tôt. La mise en service, l'exploitation et la fermeture d'un dépôt doivent toutes s'effectuer par petites étapes, autorisant un examen complet des conséquences de ces opérations. La reprise de déchets qu'on avait évacués, soit un retour complet en arrière du processus de mise en dépôt, constitue peut-être le problème le plus ardu et le plus controversé. Dans la pratique, c'est-à-dire du point de vue technique, il peut y avoir incompatibilité entre une reprise facile et un confinement maximal. Sous l'angle économique, prévoir une future reprise nécessite de provisionner des fonds pour financer les technologies d'évacuation que l'on utilisera ultérieurement en remplacement. Néanmoins, la demande se faisant plus pressante pour maintenir ouvertes les options, les responsables de la gestion des déchets se préoccupent davantage d'évaluer les possibilités de reprise ou la réversibilité des dépôts sur une période (parfois longue) durant laquelle la surveillance permettrait soit de confirmer la sûreté du dépôt ou, au contraire, remettrait en question les précédentes évaluations de sûreté.

Pour ce qui concerne les déchets à vie longue, les gouvernements des Pays-Bas, de la France et des États-Unis (dans ce cas, sur une période limitée après les opérations de dépôt) ont recommandé ou exigent, un examen des possibilités de reprise des déchets ou de réversibilité. Dans des pays comme la Suède, la Suisse, le Canada et le Royaume-Uni, les gestionnaires de déchets ont compris le message que cherchaient à faire passer le public et les hommes politiques et ont eux-mêmes prévu des dispositions garantissant la possibilité de récupérer les déchets sur des délais plus longs qu'ils ne l'avaient envisagé au départ. Les périodes explicitement considérées couvrent la durée d'exploitation et un laps de temps de l'ordre d'une centaine d'années environ au-delà de cette dernière.

La réversibilité du dépôt et la reprise des déchets, leur sûreté et leur sécurité ainsi que leurs dimensions éthiques, sociologiques et techniques, représentent certainement, d'après les membres de la CE qui ont répondu au questionnaire, « une question qui mobilise l'attention » depuis quelques années, et justifieraient que la communauté internationale se prononce clairement sur leurs implications.

Malgré la confiance des spécialistes de la gestion des déchets dans l'option de l'évacuation, les pressions en faveur de l'identification et de l'évaluation d'autres filières de gestion des déchets se maintiennent.

Par exemple, la commission indépendante qui a examiné le programme canadien a recommandé le lancement d'une étude sur les options de gestion du combustible usé autres que l'évacuation géologique qui faisait l'objet de l'examen. Plusieurs voies d'évacuation originales, comme le lancement des déchets dans l'espace, leur enfouissement dans des zones de subduction océaniques ou dans les calottes polaires ont déjà été étudiées de manière assez approfondie au cours des années soixante-dix et ne sont plus envisagées sérieusement du moins par les spécialistes de la gestion des

déchets. L'enfouissement dans les fonds sous-marins a également été évalué (par exemple, dans le cadre de l'étude PAGIS de l'UE) et a été jugé prometteur du point de vue de la sûreté. Cependant, la réalisation de dépôts sous-marins exige un accord international et la mise au point d'un cadre réglementaire approprié. Actuellement, la plupart des pays interpréteraient leurs obligations aux termes de la Convention de Londres sur l'immersion (y compris les modifications et le Protocole) comme interdisant l'évacuation de déchets nucléaires sous les fonds marins. De ce fait, les solutions de remplacement les plus souvent évoquées aujourd'hui dans le débat public sur l'évacuation des déchets, ainsi que par les gestionnaires de déchets et les responsables de la réglementation soucieux d'examiner toute la gamme des options, vont de l'entreposage de longue durée ou sur des durées indéterminées à la séparation et à la transmutation des radionucléides à vie longue contenus dans les déchets. L'encadré 2 récapitule les filières possibles de gestion des déchets.

Bien qu'ils soient disposés à examiner ces questions pour répondre aux souhaits du public ou des hommes politiques, les spécialistes de la gestion des déchets en général ne pensent pas que l'entreposage puisse constituer une solution de remplacement à l'évacuation (mais plutôt un moyen de la différer) et reconnaissent que l'entreposage prolongé a ses propres conséquences environnementales et sociales, car il doit s'appuyer notamment sur une société stable capable de veiller au maintien de la sûreté. Toute décision concernant l'entreposage de longue durée doit comporter une comparaison des risques inhérents à cette politique avec toutes les formes d'avantages possibles.

En outre, les spécialistes de la gestion des déchets sont souvent sceptiques sur l'utilité de solutions comme la séparation et la transmutation, qui n'éliminent pas la nécessité de prévoir un dépôt géologique pour les flux de déchets résiduels. En particulier, bien que ces solutions soient capables de réduire, sans toutefois les éliminer, les inventaires de certains radionucléides à vie longue, il reste des incertitudes importantes quant à leur coût, à l'attitude du public et à leurs effets secondaires sur l'environnement. De plus, leur utilisation suppose des améliorations substantielles des infrastructures et capacités nucléaires actuelles.

(v) Il convient de placer la question de la gestion des déchets dans une perspective sociale élargie.

Au niveau international, on note une prise de conscience du contexte dans lequel s'inscrit la gestion des déchets²⁰. Les discussions au sein et autour des organismes nationaux et internationaux montrent clairement qu'il faut aussi se préoccuper de questions comme la durabilité, problème social beaucoup plus vaste, qui exige une vision globale de la production et de l'utilisation de l'énergie et de l'évacuation des déchets et de leur traitement. Nous aborderons ici certains des points soulevés.

Il convient de prendre en compte les éventuelles répercussions négatives sur l'environnement de l'exploitation des ressources naturelles et, en particulier, des sources d'énergie, en s'intéressant non seulement à la protection à long terme de l'environnement, mais aussi au développement durable. D'après les discussions préalables à la rédaction de la dernière Opinion collective, il n'existerait cependant pas, pour l'évacuation des déchets, de véritable consensus sur la définition de la durabilité ou sur les méthodes permettant de l'atteindre.

20. Celle-ci ne se reflète pas de façon très sensible dans les réponses au questionnaire de l'AEN, en raison probablement des attributions techniques restreintes des personnes ayant répondu au questionnaire, qui représentent des instances réglementaires et des établissements de gestion des déchets ayant des missions spécifiques dans le domaine de l'évacuation des déchets radioactifs.

Encadré 2 : Stratégies de gestion des déchets

Évacuation:

Pour les déchets à vie longue, les spécialistes de la gestion des déchets ont mis au point le concept d'évacuation dans un dépôt en formation géologique à la fois sûr et protégé contre des actes de malveillance. La sûreté à long terme repose sur un système passif de barrières multiples, naturelles et ouvragées qui assurent diverses fonctions de sûreté. Ce concept d'évacuation n'exclut pas la surveillance, la maintenance, ni la réversibilité du dépôt ou reprise des déchets, mais ces mesures sont essentiellement destinées à inspirer confiance et ne devraient pas, dans l'idéal, être nécessaires pour garantir la sûreté. De même, la société peut opter pour des modes de gestion tels que les contrôles institutionnels à long terme, ce qui n'empêche pas que, même en cas de défaillance de ces contrôles, la santé humaine et l'environnement naturel soient préservés.

L'évacuation représente ainsi l'aboutissement de la gestion des déchets radioactifs et garantit la sécurité et la sûreté sans qu'il soit nécessaire de prévoir une surveillance, une maintenance ou des contrôles institutionnels.

Entreposage en surface de longue durée :

Depuis toujours, les pays sont pour ainsi dire unanimes à juger nécessaire ou intéressant de stocker provisoirement les déchets, pour permettre leur décroissance radioactive et leur refroidissement. Cet entreposage s'effectue souvent sur un site central, mais peut également s'opérer dans les différentes installations. Le choix du site reflétera parfois davantage des problèmes d'adhésion politique ou sociale que des considérations plus techniques ou économiques. L'entreposage se différencie de l'évacuation en ce qu'il nécessite une surveillance, une maintenance et des contrôles institutionnels pour préserver la sécurité et la sûreté de l'installation.

Le recours de l'entreposage prolongé est une conséquence inévitable des retards pris par la réalisation des dépôts de déchets de haute activité et du combustible nucléaire usé. Il existe en outre des arguments en faveur de l'entreposage en surface de longue durée (mais non sur des durées indéterminées) :

- (i) Certains scientifiques et décideurs, convaincus qu'il faut du temps pour que le concept d'évacuation géologique fasse totalement ses preuves et/ou pour que la confiance du public soit suffisante, préconisent d'en différer la mise en route. Comme la loi le prescrit, et aussi pour répondre à l'intérêt du public, la Suède, par exemple, envisage la poursuite de l'entreposage en surface (au CLAB), afin de pouvoir procéder à une comparaison générale des options pour les prochaines décennies.
- (ii) Avec l'ouverture du marché de l'électricité, les pressions économiques sur les compagnies d'électricité productrices de déchets s'accroissent. L'entreposage peut présenter des attraits pour certaines entreprises d'électricité, dans la mesure surtout où il leur permet de reporter des investissements lourds dans des dépôts coûteux. Ce sont aussi des considérations financières, telles que l'obligation pour les entreprises d'électricité de constituer, quoi qu'il arrive, des fonds séparés pour les futurs dépôts, qui détermineront si la filière de l'entreposage est plus économique sur des échelles de temps intermédiaires.

Encadré 2 suite : **Stratégie de gestion des déchets**

- (iii) L'augmentation des réserves de minerai d'uranium et la baisse de la demande de matières fissiles recyclées rendent plus intéressant la mise en dépôt direct du combustible usé. Ce combustible reste néanmoins une ressource énergétique et, à l'heure du développement durable, on peut faire valoir que l'entreposage de longue durée permet de disposer facilement de cette ressource. Cette disponibilité sera au contraire jugée négativement si l'on se place du point de vue de la non-prolifération des matières fissiles.

Bien que prôné par des personnalités étrangères aux programmes de gestion des déchets, l'entreposage sur des durées indéterminées n'est pas considéré comme une véritable alternative à l'évacuation dans des dépôts géologiques profonds. D'un point de vue rationnel, la poursuite de l'entreposage en surface n'est pas une solution mais un moyen de différer l'évacuation.

Séparation et transmutation

On a présenté la séparation et la transmutation des radionucléides à vie longue en nucléides de périodes plus courtes, donc moins difficiles à confiner au sein de dépôt profond, comme l'approche qui transformerait l'avenir de l'évacuation géologique. Le Japon, l'Espagne, la France, les États-Unis ont beaucoup investi dans ces techniques, comme la Belgique, l'Allemagne et la Suède mais du point de vue de la recherche fondamentale. Ces techniques ont atteint les tout premiers stades du développement. La plupart des travaux entrepris sont des recherches analytiques ou des études prototypes, destinées à évaluer l'intérêt de poursuivre dans cette voie. La séparation et la transmutation peuvent offrir une solution pour des déchets concentrés, bien caractérisés, mais paraissent difficilement praticables dans le cas de déchets hétérogènes présentant une contamination diffuse. Les pressions en faveur de recherches sur ce sujet semblent souvent venir des gouvernements ou des échelons consultatifs plutôt que des techniciens de la gestion des déchets. Les États-Unis et la CE, qui ont la démarche la plus « technique », ne considèrent pas cette technologie comme une solution de remplacement pour l'évacuation en formations géologiques. Cette filière permettrait, au mieux, d'abaisser la teneur en radionucléides à vie longue de l'inventaire à mettre en dépôt.

Les spécialistes de la gestion des déchets sont nombreux à considérer l'entreposage et la séparation/transmutation comme des parties intégrantes de la gestion des déchets et non comme son aboutissement.

L'incidence d'un dépôt doit être évaluée non seulement en termes, hautement techniques, de risque pour la santé de la population humaine, mais aussi dans une perspective élargie plus intelligible au public. Cette démarche peut n'exiger que quelques compléments d'informations comme l'impact du dépôt sur les flux naturels de radioactivité dans l'environnement. Mais il est possible aussi d'élargir le débat à des comparaisons entre l'impact du dépôt et celui d'autres activités de l'homme. Il faudrait en outre s'intéresser à l'application à l'évacuation des déchets du concept d'équité de la répartition des charges entre générations, contemporaines ou non, comme cela l'a été fait lors de la préparation de la dernière Opinion collective.

Les responsables de la gestion des déchets souhaiteraient que l'on situe l'évacuation des déchets nucléaires par rapport à d'autres pratiques (concernant des matières radioactives et non radioactives) susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement, y compris la réglementation et l'octroi des autorisations. On reconnaît néanmoins qu'il est impossible, dans la pratique, d'appliquer l'éventail complet de mesures proposées pour l'évacuation des déchets du cycle du combustible à la gestion de tous les déchets à vie longue provenant d'autres sources. Cela vaut, par exemple, pour les résidus d'extraction minière et pour les substances technologiquement concentrées (TENORM)²¹. Cependant, il est pratiquement acquis que la radioactivité fait partie intégrante de l'environnement humain et relève d'une approche globale.

On prend conscience aujourd'hui de la nécessité de tenir compte également des pressions financières qui s'exercent sur l'ensemble du cycle du combustible (par exemple, la déréglementation du marché de l'électricité), entraînent la réorganisation de nombreux établissements de gestion des déchets et peuvent finalement provoquer un retard de l'évacuation finale. Des études antérieures (par exemple, de l'AEN) ont fait l'objet de rapports contenant des comparaisons de coûts. Ces comparaisons sont cependant toujours difficiles à interpréter, et l'on peut leur reprocher de ne pas prendre suffisamment de recul, surtout en cette période de privatisation des entreprises d'électricité et de mondialisation générale des industries. Le lien qui existe entre la planification des dépôts et le devenir de l'industrie nucléaire n'est pas seulement de nature financière. Pour une part, l'opposition qui se manifeste contre les projets de dépôt émane certainement de groupes qui ne souhaitent pas voir résolu un aspect du nucléaire perçu comme un problème. Cependant, indépendamment de l'usage futur de l'énergie nucléaire dans le monde, la nécessité de développer des dépôts géologiques ne fait aucun doute. Il faut évacuer dans des conditions sûres, les déchets produits en grande quantité à ce jour par les programmes civils et militaires. Quoiqu'il en soit, le débat sur l'évacuation est indissociable des débats sur les stratégies d'approvisionnement en énergie, d'origine nucléaire ou autre.

Plus le temps passe, plus les problèmes de société risquent de prendre de l'importance, comme le reconnaît le document stratégique du RWMC²².

La contribution internationale

Importance des enceintes et de la collaboration internationale

Certains besoins futurs des organismes de gestion des déchets sont identiques quel que soit le pays, d'autres sont fonction de contraintes nationales, plutôt qu'internationales. Ces contraintes concernent notamment les cadres législatif et réglementaire, des considérations culturelles nationales, les milieux géologiques disponibles et les inventaires de radionucléides à évacuer. Les besoins comprennent l'élaboration de procédures et de méthodes et la formation du personnel pour les mettre en œuvre. Ces procédures et méthodes bien que spécifiques à un pays ou à un programme, subiront l'influence des progrès réalisés ailleurs. Leur mise au point, mais aussi la formation de personnels pour les appliquer et l'aménagement des dépôts auront tout à gagner de contacts et d'échanges d'idées à l'échelle internationale. Pour répondre aux besoins des organismes de gestion des déchets, l'apport des

21. Cette différence étant connue depuis longtemps, il y est rarement fait allusion dans les réponses au questionnaire, sauf dans la réponse canadienne qui reconnaît explicitement que différentes approches doivent être appliquées.

22. Domaines stratégiques de la gestion des déchets radioactifs – Position du Comité de l'AEN de la gestion des déchets radioactifs et orientation de ces travaux, OCDE/AEN, Paris 1999.

enceintes internationales demeurera essentiel. Les forums qu'offre, par exemple, l'AEN constituent un mécanisme de dialogue par delà les frontières, sont propices à l'organisation de projets communs et permettent aux spécialistes de la gestion des déchets d'être informés, en temps utile, et avec le niveau de technicité requis, des progrès accomplis dans les autres pays Membres. Les Opinions collectives élaborées et publiées par l'AEN, sont les documents internationaux les plus souvent cités comme apportant une contribution positive au débat sur l'évacuation dans des dépôts géologiques.

L'importance de la coopération internationale ressort clairement des réponses aux questions posées à ce sujet. En témoigne aussi la liste impressionnante de projets de collaborations réussies, y compris des projets de laboratoires de recherche souterrains. Pour les établissements de gestion des déchets, l'échange de résultats d'expérience, voire le partage des ressources dans le cas des projets communs de laboratoires de recherche souterrains, d'études d'analogues naturels et d'autres investigations techniques, est une source de progrès technique. Les pays Membres de l'OCDE, par exemple, ont ainsi pu acquérir une plus grande confiance dans la connaissance scientifique des processus en jeu lors de la mise en dépôt des déchets ainsi que dans l'évaluation des études nécessaires pour produire des analyses fiables de la sûreté à partir de ces connaissances. Ces collaborations pourront également aider les législateurs et responsables de la réglementation à :

- témoigner du large consensus qui existe parmi les techniciens ;
- optimiser l'usage des ressources techniques et financières ;
- clarifier la signification des principaux concepts de la mise en œuvre des dépôts (par exemple, la signification du processus par étapes adopté pour la réalisation des dépôts) ;
- garantir que le processus de développement des dépôts respecte le principe de l'équité et soit perçu comme tel par toute personne étrangère à la communauté des spécialistes ;
- harmoniser les réglementations relatives aux différents types de risques environnementaux ;
- au minimum rationaliser les différences qui existent entre consignes réglementaires nationales.

Il est ainsi probable que les forums internationaux, autorisant le dialogue et l'organisation de projets en coopération, continueront de jouer un rôle important pour tous les cercles concernés par la gestion des déchets. Même la forme la plus poussée de coopération internationale, le partage d'un dépôt international dans un pays hôte volontaire, est évoquée de plus en plus depuis quelques dernières années. Les projets internationaux peuvent présenter un intérêt direct pour les petits pays (bénéficiant alors d'économies d'échelle), pour des pays qui manquent des ressources nécessaires pour réaliser un dépôt dans de bonnes conditions (par exemple, certains des membres de l'ancien bloc de l'Est), pour ceux dont les situations et environnementales l'interdisent (par exemple, une forte densité de population) et pour ceux qui peuvent tirer parti d'environnements particulièrement adaptés.

La disposition de tous les répondants à communiquer les résultats du questionnaire de l'AEN témoigne de la valeur qu'ils attribuent à l'ouverture entre programmes nationaux et internationaux, et entre responsables nationaux des programmes et de la réglementation.

Conclusions générales du bilan

De ce rapport, des documents cités en référence et des informations fournies pour ce bilan, nous pouvons tirer les conclusions générales qui suivent :

- Le développement des concepts d'évacuation géologique profonde a marqué des progrès importants ces dix dernières années, notamment en ce qui concerne les aspects techniques liés à la connaissance, la caractérisation et la modélisation quantitative des systèmes de barrières de sûreté naturelles et ouvragées.
- Aucune modification radicale de la stratégie ou des méthodologies appliquées ne s'est avérée nécessaire. Bien que des perfectionnements soient encore apportés, l'évacuation dans des formations géologiques est une technologie qui a atteint un stade de maturité suffisant pour être mise en œuvre.
- Dans de nombreux programmes, on met davantage l'accent sur la contribution des barrières ouvragées, mais les barrières naturelles ou géologiques, restent un facteur important de la sûreté à long terme des dépôts profonds.
- Tous les programmes nationaux continuent de considérer l'évacuation dans des formations géologiques profondes comme une technologie nécessaire et réalisable, même si certains pays souhaitent différer la réalisation des dépôts ou évaluer en parallèle d'autres options.
- Il existe une tendance générale à privilégier des approches prudentes, par étapes, dans la mise en œuvre des projets et la réglementation, de façon à favoriser un processus de décision sociale procédant par pas incrémentaux plus réduits. Des étapes discrètes, aisément contrôlables, facilitent la traçabilité des décisions, permettent au public et /ou à ses représentants d'intervenir et sont de nature à renforcer la confiance du public et des responsables politiques dans la sûreté de l'installation et la compétence des responsables de la réglementation et de la mise en œuvre des projets de dépôts.
- Bien qu'un dépôt géologique destiné aux déchets à vie longue soit maintenant en service, les calendriers envisagés il y a dix ans pour l'aménagement de dépôts dans des formations géologiques étaient trop optimistes. Les retards enregistrés sont partiellement dus à des problèmes opérationnels, mais tiennent surtout à des raisons d'ordre institutionnel liées, dans une large mesure, au manque de confiance du public.
- Les spécialistes de la gestion des déchets sont parfaitement conscients de ce manque de confiance du public. Les gestionnaires de déchets et les responsables de la réglementation doivent consentir des efforts pour communiquer efficacement aux décideurs et au public leur conviction commune qu'il est possible d'évacuer les déchets en toute sécurité.
- Les gestionnaires de déchets et les responsables de la réglementation sont plus disposés que jamais à tenir compte des souhaits du public, pourvu que ces derniers ne compromettent pas la sûreté des dépôts. Tous, ils s'efforcent d'établir des stratégies et procédures associées autorisant la surveillance à long terme ainsi que la réversibilité du dépôt et la reprise des déchets. Ces questions sont désormais explicitement prises en compte dans un certain nombre de programmes.
- D'autres moyens d'évacuer les déchets radioactifs ont souvent paru prometteurs tant que l'on avait pas examiné tous les aspects de la proposition. Plusieurs options originales ont

été jadis étudiées, mais ne sont plus aujourd'hui envisagées sérieusement. Certains, pour diverses raisons, défendent avec force l'entreposage en surface de longue durée ainsi que la séparation et la transmutation. Les responsables de la gestion des déchets ne considèrent cependant pas l'entreposage en surface de longue durée voire « d'une durée indéterminée » comme une réelle alternative à l'évacuation en formations géologiques. Au mieux, il s'agit d'un moyen de différer l'évacuation finale. La séparation et la transmutation ne sont pas non plus de véritables solutions de remplacement. Dans le meilleur des cas, ces techniques permettent de réduire le volume ou de modifier la distribution isotopique des déchets qui doivent être ensuite mis en dépôt profond.

Pour résumer l'état actuel de développement du concept d'évacuation dans des formations géologiques profondes, on peut affirmer que des progrès réels ont été et sont encore réalisés, grâce aux efforts déployés par de nombreux experts représentant diverses disciplines au sein de programmes nationaux et internationaux de gestion des déchets. Les avancées techniques et l'amélioration de relations sociétales ont pris plus de temps qu'on ne l'avait espéré, et la mise en œuvre des dépôts profonds a subi des retards importants. Cependant, un dépôt a été mis en exploitation récemment et plusieurs dépôts à grande profondeur approchent du moment de leur mise en service, bien que l'on ne puisse envisager d'exploiter la plupart des installations de ce type avant de nombreuses années. On peut espérer que le fonctionnement des premiers dépôts profonds dans de bonnes conditions redonnera confiance au public, et, ce faisant, facilitera la mise en œuvre des autres dépôts.

Annexe 1

LE QUESTIONNAIRE DE L'AEN

Tableau 1 : **Organisations ayant répondu au questionnaire diffusé par le Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC) de l'OCDE/AEN**

PAYS	ORGANISATION(S)
Belgique	SCK/CEN ONDRAF/NIRAS
Canada	CCEA EACL Ontario Hydro Ressources naturelles Canada
République tchèque	Sprava ulozist radioaktivnich odpadu
Finlande	POSIVA STUK Ministère du Commerce et de l'industrie
France	DSIN ANDRA
Allemagne	BfS
Hongrie	HAEA
Japon	JNC
Corée	KAERI
Pays-Bas	Ministère du logement et de l'environnement
Norvège	IFE
Espagne	CSN ENRESA
Suède	SKI SKB
Suisse	CEDRA DSN
Royaume-Uni	EA NIREX
États-Unis	DOE-YMP DOE-WIPP USNRC
CE	DG-XI ; DG-XII
AIEA	Section de la sûreté des déchets

QUESTIONNAIRE

Veillez répondre à l'ensemble des questions qui s'appliquent à votre organisation – si nécessaire par le commentaire « aucun » ou « non pertinent ». Des réponses brèves, accompagnées, si besoin est, de références, suffisent. Certaines parties du questionnaire requièrent des informations plus détaillées (par exemple, les questions relatives à la caractérisation des sites et à l'évaluation des performances). Pour ces questions, nous vous encourageons à transmettre le questionnaire à d'autres personnes, si nécessaire.

1. Politiques et stratégies nationales de gestion à long terme des déchets radioactifs à vie longue

- 1.1 Pouvez-vous citer des déclarations de politique générale ou des textes de lois récents dans ce domaine ? (veuillez fournir des références et en décrire brièvement les aspects les plus marquants ; veuillez noter que les nouvelles prescriptions réglementaires sont abordées à la Question 6).
- 1.2 Quelles sont les modifications intervenues dans les structures organisationnelles et la répartition des responsabilités ?
- (a) concernant la politique ?
 - (b) concernant la mise en œuvre des projets ?
 - (c) concernant la réglementation ?
 - (d) concernant les financements ?
 - (e) autre ?
- 1.3 Quels sont les changements intervenus dans la politique ou dans la stratégie de gestion des déchets ?
- (a) stratégie globale, par exemple, poids relatif de l'évacuation par rapport à l'entreposage, à la séparation et à la transmutation ?
 - (b) délais approximatifs prévus pour la réalisation des étapes de la stratégie et et la construction des installations ?
 - (c) position vis-à-vis de la surveillance et de la reprise des déchets ?
 - (d) coopération dans le cadre de programmes multinationaux ?
 - (e) participation à des organisations internationales ?
 - (f) autre ?

2. Progrès sur la voie de la réalisation de dépôts géologiques et d'installations associées

- 2.1
- (a) La stratégie technique, les principales composantes ou les délais de réalisation de dépôts géologiques ont-ils été modifiés ? *et*
 - (b) Votre organisation a-t-elle fait des déclarations officielles (ou périodiques) sur la sûreté technique de l'évacuation géologique ? (veuillez fournir des références).

- 2.2 Énumérez les progrès réalisés sur la voie de l'évacuation en formations géologiques et de la réalisation d'installations associées. Par exemple, quelles sont les installations :
- (a) qui ont commencé à fonctionner ?
 - (b) qui sont construites ou en construction ?
 - (c) pour lesquelles, un permis de construire a été délivré ?
 - (d) pour lesquelles une demande d'autorisation a été déposée ?
- 2.3 Quelle expérience avez-vous des processus d'implantation de ces installations, et notamment des aspects suivants :
- (a) le choix des sites pressentis et favorables (y compris les critères de sélection) ?
 - (b) l'approbation ou le rejet des sites choisis en vertu de dispositions législatives ou réglementaires ? (y compris les raisons et les enseignements tirés)
 - (c) la réaction du public (surtout au niveau local, y compris l'efficacité des actions de communication) ?
 - (d) dans quelle mesure et à quelles étapes, les critères géologiques sont-ils intervenus dans le choix du site (par exemple, géologie générale, caractéristiques spécifiques du site, possibilité de caractériser des milieux géologiques ou un site spécifique) ?
 - (e) quels enseignements généraux avez-vous tirés de cette expérience ?

3. Progrès techniques dans le domaine du conditionnement des déchets et les aspects d'ingénierie

- 3.1 Avez-vous effectué des progrès importants dans les domaines techniques suivants de l'évacuation géologique (faire la distinction entre les différents types de déchets, si nécessaire).
- (a) conditionnement des déchets ?
 - (b) emballage, enrobage ?
 - (c) matériaux de remblayage ?
 - (d) autres barrières technologiques ?
 - (e) excavation et travaux souterrains ?
 - (f) autres ?
- 3.2
- (a) Parmi ces domaines, lesquels sont prioritaires (et font l'objet d'importantes recherches) dans votre programme national ? *et*
 - (b) Quels sont les problèmes clés qui restent à traiter ?

4. Progrès techniques dans le domaine de la caractérisation des sites

- 4.1 Énumérez les campagnes de caractérisation régionales ou de sites que votre organisation a menées depuis 1990 ? (Veuillez fournir des références, une brève indication de la finalité et indiquer si les résultats ont été publiés) ;
- 4.2 Quelles étaient les informations recherchées, par exemple, sur l'importance de la géosphère pour la sûreté du dépôt, sur la faisabilité des travaux d'excavation et de construction et les contraintes associées, sur l'implantation géographique du dépôt et l'optimisation de la conception ?
- 4.3 Quelles avancées techniques importantes avez-vous faites dans les domaines suivants :
- (a) stratégies de caractérisation des sites ?

- (b) techniques de mesure sur le terrain ?
- (c) techniques d'interprétation ?
- (d) autre ?

- 4.4 (a) Parmi les domaines qui précèdent, lesquels sont prioritaires (et font l'objet d'importantes recherches) dans votre programme national ? *et*
- (b) Quels sont les problèmes clés qui restent à traiter ?

5. Pratique des évaluations des performances et de la sûreté

- 5.1 Quelles évaluations des performances ou de la sûreté votre organisation a-t-elle réalisées depuis 1990 ? (Veuillez donner des références et une brève description de la finalité de ces études, indiquer si les résultats ont été publiés, etc.)
- 5.2 Quels progrès importants avez-vous réalisés dans le domaine de l'évaluation des systèmes de barrières ouvragées ? Les réponses porteront sur :
- (a) la caractérisation et la compréhension physique, par exemple du colis de déchets, du comportement des matériaux du système de barrières ouvragées, des processus couplés ;
 - (b) la modélisation mathématique et conceptuelle (niveau de détail et d'évaluation) ;
 - (c) la fiabilité globale des performances du système de barrières ouvragées (identifier les facteurs ou les arguments clés) ;
 - (d) autre.
- 5.3 Quels progrès importants avez-vous réalisés dans l'évaluation des *systèmes de barrières naturelles* (géosphère et biosphère) ? Les réponses porteront sur :
- (a) la caractérisation et la compréhension physique, par exemple de la géosphère, de la biosphère et des processus connexes ;
 - (b) la modélisation conceptuelle et mathématique (niveau de détail et d'évaluation) ;
 - (c) la fiabilité globale des performances de la géosphère et/ou de la biosphère (identifier les facteurs ou les arguments clés) ;
 - (d) autre.
- 5.4 Quels progrès importants avez-vous accomplis dans le domaine de l'analyse du système global, de la méthodologie et des techniques de présentation ? Les réponses porteront sur :
- (a) analyse du système global, construction de scénario, traitement des incertitudes ;
 - (b) assurance qualité, vérification de la qualité, validation des modèles ;
 - (c) utilisation des analogues naturels ;
 - (d) présentation des résultats ;
 - (e) niveau global de confiance, argumentations multiples ; etc.
 - (f) autre.

6. Laboratoires de recherche souterrains

- 6.1 Avez-vous un laboratoire de recherche souterrain ? Dans l'affirmative, veuillez fournir des références concernant les études menées au cours des dix dernières années et, le cas échéant, concernant le programme futur.

- 6.2 Votre organisation participe-t-elle directement à un (des) programme(s) multinationaux de laboratoires souterrains ou à des expériences réalisées dans les laboratoires de pays étrangers ? Veuillez fournir des références.
- 6.3 (a) Quel est, d'après-vous, le principal rôle des laboratoires de recherche souterrains dans un programme d'évacuation ? *et*
(b) Quels avantages spécifiques votre organisation a-t-elle tirés de son propre programme de recherche sur ces laboratoires ou de sa participation à d'autres programmes de ce type, au cours de la dernière décennie ?
(c) Quels sont, d'après vous, les principaux domaines à explorer à l'avenir?

7. Programmes d'étude des analogues naturels

- 7.1 Avez-vous mis sur pied un programme d'études d'analogues naturels ? Dans l'affirmative, veuillez fournir des références sur les travaux réalisés au cours de la dernière décennie et, le cas échéant, sur le programme à venir.
- 7.2 Votre organisation participe-t-elle directement à un ou des programme(s) multinationaux d'études des analogues naturels ou à des expériences de ce type à l'étranger ? Veuillez fournir des références.
- 7.3 (a) Quel est, d'après vous, le principal rôle des analogues naturels dans le cadre d'un programme d'évacuation ? *et*
(b) Quels avantages spécifiques votre organisation a-t-elle tirés de votre propre programme d'étude des analogues naturels ou de sa participation à d'autres programmes de ce type, au cours de la dernière décennie ?
(c) Quels sont d'après vous les principaux domaines à explorer à l'avenir ?

8. Évolution de la réglementation

- 8.1 Les réglementations et/ou directives en la matière ont-elles été modifiées ? Veuillez fournir les références des nouveaux documents réglementaires et une brève description de ces modifications ; mentionnez les projets et les documents de consultation si ces textes ne sont pas encore finalisés. En particulier, veuillez mentionner toute modification :
- (a) des critères, des objectifs ou de leur interprétation (par exemple, dose/risque, autres critères s'appliquant à l'ensemble du système de dépôt ou à un sous-système, niveau de détail, échelles de temps, critères non radiologiques) ?
(b) le traitement de sujets spécifiques (intrusion humaine, par exemple) ?
(c) la cohérence avec la législation traditionnelle en matière d'environnement et d'aménagement du territoire ?
(d) la cohérence avec les recommandations internationales.
- 8.2 Les approches réglementaires ont-elles changé ? Par exemple :
- (a) les processus réglementaires (par exemple, processus par étapes, relations avec les gestionnaires de déchets) ?
(b) les modes de consultation et de communication (par exemple, avec les différents intervenants ou le public) ?
(c) leur intégration dans les procédures prévues par les législations en matière d'environnement et d'aménagement du territoire ?
(d) autre ?

9. Évolutions des coûts, des modes de financement et des budgets

- 9.1 Combien votre organisation a-t-elle dépensé au cours des dix dernières années (ou sur les périodes pertinentes) dans des projets liés à l'évacuation géologique ? Dans la mesure du possible, indiquez la ventilation des fonds entre les travaux de R-D et l'aménagement du dépôt/site et entre les déchets de haute activité/combustible usé et les déchets transuraniens/déchets de moyenne activité.
- 9.2 Quelles sont les tendances actuelles (et les prévisions à court terme) en matière d'effectifs et de budgets affectés aux projets d'évacuation géologique ? Appliquez, si possible, la ventilation ci-dessus ou une répartition dans le temps.

10. Information et participation du public

- 10.1 Existe-t-il un processus formalisé pour faire participer le public aux décisions relatives à la gestion des déchets dans votre pays ? Qui en assume la responsabilité ?
- 10.2 Considérez-vous qu'il est du ressort de votre organisation de communiquer (et dans quelle mesure) avec :
- (a) le grand public ?
 - (b) les décideurs politiques ?
 - (c) la population locale concernée ou ses représentants ?
 - (d) des publics scientifiques et techniques plus larges ?

et

Disposez-vous de personnel spécialisé (combien de personnes) pour remplir l'une des fonctions précédentes ?

- 10.3 Quelles initiatives votre organisation a-t-elle prises pour communiquer avec les publics mentionnés ci-dessus ? Par exemple :
- (a) publications spécifiquement destinées à ces publics ;
 - (b) présentations, expositions, débats contradictoires ; etc.
 - (c) autres moyens.
- 10.4 Quels sont, d'après vous, les informations ou les arguments essentiels à transmettre, par exemple, la sûreté technique de l'évacuation dans des dépôts souterrains, la nécessité pratique de l'évacuation, la qualité des études scientifiques, le faible niveau de risque, les avantages locaux, autre ?
- 10.5
- (a) Les attitudes ont-elles évolué dans votre pays au cours de la dernière décennie (grand public, communautés locales ou publics spécifiques) ?
 - (b) Quels sont les événements qui ont eu un impact important sur le public (positif ou négatif, et sur quel public) ? *et*
 - (c) Quelle influence, les actions de communication et la consultation du public ont-elles eu sur (i) les attitudes des publics visés ou (ii) sur vos programmes et propositions ?

11. Jugement global

(recouvre votre programme national, d'autres programmes ou d'autres problèmes internationaux)

- 11.1 Indiquez par ordre d'importance les 5 événements positifs qui ont marqué l'évolution de l'évacuation géologique au cours des dix dernières années.
- 11.2 Indiquez par ordre d'importance les 5 événements négatifs qui ont marqué l'évolution de l'évacuation géologique au cours des dix dernières années.
- 11.3 Indiquez par ordre d'importance les 5 évolutions nécessaires pour accélérer la progression vers l'évacuation géologique dans les dix prochaines années.

Annexe 2

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES RÉPONSES : ÉVOLUTIONS STRUCTURELLES ET ORGANISATIONNELLES, LÉGALES ET RÉGLEMENTAIRES

A 2.1 Développement des programmes, stratégies

Déchets à éliminer

Par rapport à la situation dix ans auparavant, il semble que les décideurs considèrent davantage l'évacuation géologique comme une nécessité pour différents types de déchets et plus seulement les déchets de haute activité vitrifiés ou le combustible nucléaire usé, pour lesquels les premiers concepts de dépôts géologiques profonds avaient été mis au point. De nombreux pays exigent aujourd'hui l'aménagement de dépôts pouvant recevoir à la fois du combustible usé et des déchets de haute activité. C'est le cas des États-Unis, de la Suisse, de l'Allemagne, de la Belgique et de la République tchèque, par exemple. L'ANDRA, en France, a étudié récemment la mise en dépôt directe de combustible usé, bien que la Commission nationale d'évaluation (CNE) ait exprimé des réserves sur l'intérêt de cette stratégie pour le combustible usé¹ (CNE, 1998). En outre, l'évacuation dans des dépôts géologiques profonds ne répond pas uniquement au besoin d'éliminer les déchets du cycle du combustible des centrales nucléaires. Aujourd'hui, on envisage d'évacuer dans ce type de dépôts une diversité de déchets. L'installation WIPP au Nouveau Mexique est conçue pour les déchets transuraniens produits dans le cadre du programme de défense américain. L'évacuation géologique des déchets transuraniens issus du cycle du combustible nucléaire a fait l'objet d'une évaluation dans plusieurs pays dont le Japon. Les inventaires de déchets radioactifs de faible et moyenne activité (FMA), destinés à un dépôt profond dans le programme britannique, et ceux de déchets à vie longue, issus du retraitement entre autres, dans le cadre des programmes suisse et suédois, sont mieux quantifiés. On perçoit aussi un plus vif intérêt pour les déchets anciens résultant de diverses activités antérieures (militaires ou industrielles). Dans les années 80, les États-Unis ont décidé de placer dans un même dépôt les déchets de haute activité civils et militaires ainsi que les combustibles nucléaires usés. Il est, par ailleurs, nécessaire d'évacuer les matières fissiles devenues excédentaires depuis la réduction des programmes d'armement. Cependant, il faudra auparavant les avoir stabilisées ou brûlées dans un réacteur après les avoir converties en combustible à oxydes mixtes (MOX).

Nouvelles installations

Ces dix dernières années, de nouvelles installations d'entreposage en surface du combustible usé ou des déchets de haute activité ont vu le jour dans divers pays, comme la Belgique, les Pays-Bas, la Finlande, l'Allemagne, le Japon et la Suisse. Les dépôts en exploitation sont moins nombreux. Des cavités de dépôt pour déchets FMA, inspirées de l'installation SFR, ont été aménagées sur deux sites en Finlande. L'exploitation du dépôt allemand de Morsleben a été interrompue, et le site de Konrad

1. Ces réserves sont dues au fait que le combustible usé possède une valeur résiduelle et, de ce fait, ne peut être juridiquement considéré comme un déchet « ultime ».

attend une autorisation d'exploitation². Aux États-Unis, l'installation WIPP, destinée à recevoir les déchets à vie longue, a été déclarée conforme à la réglementation fédérale et a déposé une demande d'homologation auprès de l'État du Nouveau Mexique.

Le succès de l'entreposage peut s'expliquer par les besoins urgents et à court terme des producteurs de déchets. Avec l'augmentation de la capacité d'entreposage en surface, il devient moins urgent d'aménager des dépôts profonds pour un dépôt définitif.

Autosuffisance en matière d'évacuation

Au cours des dix dernières années, on a observé des tendances contradictoires dans le domaine de l'autosuffisance nationale. Certains pays comme la Suède, la Finlande ou la France interdisent l'importation ou l'exportation de déchets radioactifs destinés à l'évacuation. D'autres, comme la Suisse, acceptent l'exportation à titre exceptionnel, d'autres encore, dont les Pays-Bas, seraient favorables à l'installation de dépôts en coopération. Les organisations internationales ont également examiné avec sérieux les possibilités de mettre en place des dépôts régionaux ou internationaux, pouvant recevoir des déchets de plusieurs pays. Un document stratégique de la Communauté européenne, une déclaration récente du Parlement européen (1998) ainsi qu'un rapport de l'AIEA publié en 1998 (AIEA, 1998) abordent cette question.

Tous les responsables des programmes de gestion des déchets estiment qu'il leur incombe de proposer des solutions nationales à leurs propres problèmes d'évacuation. Cette position traduirait davantage la réalité politique et les mentalités actuelles qu'un principe fondamental. En fait, il existe des arguments économiques et techniques solides en faveur d'une entreprise commune qui éviterait de dupliquer les efforts et autoriserait des économies d'échelle.

A 2.2 Législation / Réglementation

Évolutions des normes de sûreté reconnues au plan international

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) formule des principes et des critères fondamentaux de radioprotection, applicables dans le monde. Il y dix ans, les recommandations les plus récentes de la CIPR concernant la gestion des déchets étaient contenues dans la Publication 46 de 1985. Plus près de nous, la Publication 64, diffusée en 1993, définissait des principes de radioprotection s'appliquant à un certain nombre de situations pratiques où il n'est pas prévu d'exposition sans qu'il soit possible néanmoins de l'exclure. La CIPR a formulé des recommandations générales concernant les politiques et l'éthique de la gestion des déchets radioactifs dans sa Publication 77 de 1998. La préparation d'un rapport intitulé « Radiological Protection Principles for the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste » a bien avancé. Ce rapport traite des expositions potentielles imputables aux déchets à vie longue, des objectifs en matière de protection à long terme, du poids à accorder aux doses d'exposition futures et de l'application du concept « d'optimisation de la protection ».

Les rapports de la CIPR contiennent des recommandations s'appliquant spécifiquement à l'évaluation des performances des dépôts de déchets à vie longue. La Publication 64, par exemple, commente les problèmes liés à des modifications de la biosphère et fournit des recommandations sur le choix des scénarios, qui permettent de justifier l'exclusion de certains scénarios dans le dossier de sûreté présenté à l'appui de la demande d'autorisation. En outre, pour respecter le principe de l'égalité

2. L'autorisation du site de Konrad ne devrait pas être délivrée dans un avenir immédiat.

de la protection des générations, la Publication 77 suggère que la dose effective individuelle reçue par un groupe critique, dans le cas d'une exposition normale, ainsi que le risque individuel annuel pour un groupe critique, dans celui de l'exposition potentielle, devraient dans la pratique constituer une bonne base de comparaison de la limite du détriment subi par les générations futures par rapport aux générations actuelles (CIPR 77, paragraphe 69).

Sur la base des travaux de la CIPR, l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA) a publié des normes non contraignantes, bénéficiant d'une reconnaissance internationale, sur la sûreté des déchets radioactifs : les Normes de sûreté pour les déchets radioactifs (RADWASS). L'objectif de ces normes est de définir une structure pour les documents de la Collection Sécurité consacrés à la gestion des déchets et de couvrir de manière exhaustive tous les aspects pertinents³. Dans le domaine de la sûreté de l'évacuation en formations géologiques, les recommandations les plus récentes de l'AIEA figurent dans le N°99 de la Collection Sécurité publiée en 1989. L'AIEA a cependant constitué un groupe de travail, chargé d'étudier les possibilités de trouver un consensus sur certaines questions⁴. Les résultats de la réflexion de ce groupe seront probablement utilisés, en association avec les recommandations de la CIPR, pour mettre au point, dans plusieurs pays, de nouvelles normes de sûreté.

Accords entre États

Au cours de la dernière décennie, des États souverains ont conclu plusieurs accords sous les auspices de l'AIEA. Ces accords peuvent être considérés comme l'une des composantes d'un dispositif destiné à favoriser les efforts de collaboration intergouvernementale dans le domaine de la sûreté nucléaire. S'agissant plus précisément de l'évacuation des déchets radioactifs, la « Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs » a été adoptée en 1997 et constituera, lorsqu'elle sera ratifiée, le premier instrument juridiquement contraignant dans ce domaine. Le contenu technique de la Convention s'appuie sur un certain nombre de principes éthiques régissant l'évacuation des déchets radioactifs, ainsi que sur les principes et concepts de sûreté contenus dans le document de l'AIEA, « Principes de la gestion des déchets radioactifs » publié en 1995. La formule adoptée pour l'application officielle de cette Convention est celle d'examen par des pairs des rapports nationaux, à l'occasion des Réunions d'examen des Parties contractantes.

Tendances des législations et réglementations nationales

Dans divers pays, la législation sur l'environnement ou le droit nucléaire ont beaucoup évolué au cours des dix dernières années. C'est aux États-Unis que l'activité législative a été la plus importante et que les hommes politiques et les législateurs ont le plus tendance à intervenir directement pour faire avancer les projets d'évacuation des déchets. Cependant, le Royaume-Uni, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Hongrie et la République tchèque ont également adopté de nouvelles lois sur l'environnement ou sur le nucléaire. En 1997, le Canada s'est doté de lois pour rationaliser et réorganiser son dispositif législatif et exiger des futurs exploitants des garanties supplémentaires afin

-
3. Les principes et concepts fondamentaux de la gestion des déchets radioactifs sont définis dans le N°111-F de la Collection Sécurité, publié en 1995.
 4. Le Groupe de travail de l'AIEA sur les principes et critères pour l'évacuation définitive des déchets a publié trois rapports sur des questions liées à la sûreté : « Safety Indicators in Different Time Frames for the Safety Assessment of Underground Radioactive Waste Repositories » (TECDOC-767), « Issues in Radioactive Waste Disposal » (TECDOC-909) et « Regulatory Decision Making in the Presence of Uncertainty in the Context of the Disposal of Long Lived Radioactive Wastes » (TECDOC-975).

qu'ils disposent des moyens nécessaires pour financer l'évacuation de leurs déchets nucléaires. Quant à la réglementation, des pays comme les États-Unis, la Suisse, la Suède et la Finlande, l'ont modifiée ou le font actuellement. Certains pays, dont la Belgique et les Pays-Bas, ne possèdent pas, à ce jour, de réglementation spécifique au dépôt de déchets radioactifs et d'autres, comme l'Espagne et le Japon, sont en train d'en élaborer.

Certaines tendances générales méritent un commentaire. Les législateurs et les responsables de la réglementation ont été nombreux à s'intéresser à la répartition des responsabilités financières pour la partie terminale du cycle du combustible, à la définition d'objectifs de sûreté à long terme et à la formulation de critères de conformité avec ces objectifs. On remarque l'absence de volonté d'intégrer les lois ou les réglementations sur l'évacuation des déchets dans le dispositif général relatif à l'environnement. Bien que la plupart des pays prétendent disposer d'une législation sur l'évacuation en harmonie avec les autres textes de loi sur l'environnement, il est rarement question du développement durable ou de critères généraux de nature à garantir une protection équivalente de l'environnement contre diverses substances radioactives ou formes de déchets dangereux non radioactifs. Le Royaume-Uni, où l'Environment Agency a pour mission de veiller au développement durable, aux termes de la loi sur l'environnement de 1995, fait exception. Cette mission concernerait aussi l'évacuation des déchets radioactifs.

Les amendements apportés aux réglementations portent souvent sur les critères de sûreté à long terme. On retiendra les tendances spécifiques suivantes :

- utiliser davantage des critères fondés sur le risque ;
- accepter la nécessité de prendre en compte des périodes très longues (10 000, 100 000 ans et plus) dans les analyses de sûreté ;
- reconnaître qu'il est impossible de prouver que des exigences sont rigoureusement respectées, en particulier au-delà de 10 000 ans ;
- apprécier la valeur potentielle d'indicateurs de sûreté, autres que la dose ou le risque ;
- reconnaître que les scénarios faisant intervenir une intrusion humaine dans un dépôt scellé doivent être examinés séparément.

D'une manière générale, il existe une tendance à préconiser des démarches par étapes au niveau réglementaire, de sorte que la décision sociale puisse intervenir par paliers de taille réduite. Il manque une définition claire indiquant comment cette attitude peut se traduire dans la pratique, mais des exemples spécifiques suggèrent que le demandeur a davantage de chance d'obtenir les autorisations nécessaires s'il dépose une série de demandes correspondant à des étapes discrètes du projet de mise en œuvre du dépôt qui soient facilement contrôlables. L'exemple de la Suisse est à cet égard éloquent. L'échec du référendum concernant le site du Wellenberg (Kowalski et Fritschi, 1996) tient au fait que le public aurait préféré que l'on délivre dans un premier temps un permis de construire pour une galerie d'exploration, plutôt que d'autoriser d'emblée la construction du dépôt final. La complexité du débat public ressort bien du contre-exemple du Royaume-Uni, où l'autorisation d'une installation exploratoire à Sellafield a été refusée (CUM, 1997) bien qu'il ait été clairement annoncé que cette installation ne serait utilisée que pour des travaux de reconnaissance destinés à étayer des conclusions ultérieures concernant l'adéquation du site proposé.

A 2.3 Organisation des établissements de gestion des déchets et des autorités responsables de la réglementation

Concernant la gestion des déchets radioactifs, peu de changements fondamentaux sont intervenus dans l'organisation de la mise en œuvre des projets. Parmi les événements importants, on peut signaler la création de nouvelles organisations spécialisées dans la gestion des déchets, en Finlande (Posiva), en République tchèque (Sprava ulozist radioaktivnich odpadu), en Hongrie (PURAM) et en Suisse (GNW) notamment. En fait, le modèle du gestionnaire de déchets contrôlé principalement par les organisations productrices de déchets gagne en popularité. Même certains pays qui ne disposent pas actuellement de ce type d'organisme, comme le Japon, l'Allemagne ou le Canada, envisagent d'en constituer un. Au Canada, l'Énergie atomique du Canada, Limitée ayant achevé sa tâche de définition d'évacuation de stockage géologique, la principale entreprise d'électricité nucléaire, Ontario Hydro, a repris plus directement en charge la poursuite du développement des projets d'évacuation de ses déchets nucléaires.

À un autre niveau du processus de mise en œuvre de dépôts, certains pays ont procédé à des modifications organisationnelles destinées à faciliter le choix des sites, si souvent sujet à controverses. La France a nommé un médiateur qui a réussi à convaincre des communes de présenter leur candidature pour accueillir un laboratoire souterrain. Les États-Unis, par contre, ont échoué dans leur tentative de trouver un site pour une installation d'entreposage par l'entremise d'un négociateur et ont renoncé⁵. La Suède a récemment nommé un coordinateur national chargé d'une mission similaire de recherche de sites.

Les changements introduits au cours de la dernière décennie tendent à rehausser l'indépendance des responsables de la réglementation nucléaire et des exploitants. En République tchèque, par exemple, la responsabilité de la réglementation a été transférée de la *Komise pro atomovou energii* (Commission de l'énergie atomique) à une nouvelle organisation, SONS (Statni urad pro jadernou bezpecnost – Office d'État pour la sûreté nucléaire). Le Royaume-Uni a créé l'Environment Agency (AE). En France, l'IPSN se sépare du CEA et, au Canada, la Commission canadienne de sûreté nucléaire prend la place de l'ancienne Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA). Des changements visant à distinguer clairement les aspects liés à la sûreté nucléaire des aspects technologiques sont aussi intervenus au sein des organisations internationales. Tant la CE que l'AIEA ont dissocié, dans leur organisation, les questions réglementaires de la de R-D sur la gestion des déchets. D'autres restructurations des organismes chargés de la réglementation, par exemple en Espagne et en Suède, ont, dans chaque cas, contribué à donner une plus grande place à la gestion des déchets.

Le soutien apporté par l'AEN à des forums de discussions sur les questions techniques et stratégiques, qui réunissent des responsables de la réglementation, de la mise en œuvre des projets et de l'élaboration des politiques, caractérise les travaux de cette organisation dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs. L'échange d'idées sur les limites technologiques, mais aussi les progrès, importe dès lors que la réglementation doit être appliquée dans le cadre des expertises et enquêtes qui conditionnent l'octroi d'une autorisation d'exploitation. L'AEN a également ressenti la nécessité d'organiser des forums destinés uniquement aux responsables de la réglementation afin de leur permettre d'échanger des idées et des approches par delà les frontières. C'est ainsi que le RWMC a constitué un sous-comité de responsables de la réglementation en 1998.

5. On a constaté que l'implantation d'une installation d'entreposage suscitait un grand intérêt. Le Congrès américain ayant cessé de financer cette activité, l'*Office of the Negotiator* a cependant fermé. L'étude des sites identifiés par cet Office se poursuit en vue d'installer des installations d'enteposage privées.

A 2.4 Coûts et financement

Budgets, coûts

Assurer la cohérence entre les études de coûts entreprises dans le cadre de différents programmes n'est pas chose facile, même s'il s'agit de projets spécialement conçus à cet effet (voir les analyses des coûts des dépôts de déchets de faible activité et de haute activité (AEN/OCDE 1993 et 1999a) ainsi que le rapport de contrat d'étude de la DG-XI à ce sujet, actuellement en cours de publication).

Il apparaît que des sommes très importantes ont été investies pour tenter de développer des dépôts géologiques. Ces investissements représentent des milliards de dollars dans certains pays, en tête desquels on trouve les États-Unis et l'Allemagne, qui n'ont identifié qu'un site favorable. Même des pays aux programmes plus modestes, comme la Belgique, le Royaume-Uni, le Canada et la Suisse, ont englouti des centaines de millions de dollars, sans parvenir à un consensus sur le choix d'un site.

Les programmes les plus avancés semblent marquer le pas et perdre de l'ampleur, bien que l'accent soit mis sur la garantie du financement à long terme, ce qui pourrait dénoter une prise de conscience de la durée réelle de la tâche. La perspective de progrès réels dans un avenir prévisible génère un comportement différent. La Suède, par exemple, table sur une augmentation du budget de son programme d'évacuation des déchets de haute activité, dès qu'elle aura surmonté les problèmes immédiats que pose la recherche d'un site. Dans le cas des programmes plus récents ou moins aboutis, la mise en place de projets viables pour l'évacuation à long terme mobilise davantage les énergies. La collaboration avec des programmes établie de longue date, dans le cadre de projets communs ou d'accords bilatéraux ou encore d'une relation contractuelle, est un moyen couramment adopté pour y parvenir.

Financement de la gestion des déchets

L'application du principe « pollueur-payeur » au financement de la gestion des déchets gagne du terrain. Ce principe a été introduit dans la législation suédoise au cours des années 70 et, plus récemment, dans la Loi de 1992 sur le financement des dépenses futures afférentes à la gestion des combustibles nucléaires irradiés et dans les réformes financières de 1996. Les États-Unis ont longtemps appliqué un système de redevance prélevée sur l'électricité d'origine nucléaire pour financer les activités du DOE dans le domaine de la gestion des déchets provenant l'exploitation des réacteurs. L'Allemagne, en votant la Loi atomique de 1998 (GER 1998), le Canada, la Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaire de 1997, la Hongrie, la Loi n° CXVI de 1996 sur l'énergie nucléaire, et la République tchèque, la Loi sur l'énergie nucléaire de 1997, ont rejoint les nombreux pays qui ont déjà inscrit ce principe dans leur législation. De même, dans d'autres pays comme la Belgique et la Suisse, des mesures officielles ont été prises afin de garantir le financement de l'aval du cycle du combustible.

Annexe 3

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES RÉPONSES : FONDEMENTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Cette annexe présente un bilan des fondements scientifiques des projets d'évacuation des déchets, établi d'après les réponses au questionnaire. L'annexe 4 examinera, de manière plus détaillée, les difficultés spécifiques que pose la réalisation d'analyses de sûreté crédibles une fois que l'on possède une bonne compréhension du comportement du système. L'absence de différences fondamentales entre les opinions fournies par les sondés a permis cette récapitulation de la situation dans ces deux domaines. En effet, on constate un large consensus sur l'ensemble des points clés, avec quelques nuances toutefois dans les jugements relatifs à la disponibilité de la technologie et des méthodologies d'évaluation de la sûreté.

A 3.1 Conditionnement des déchets, conception et construction des dépôts

Les progrès réalisés dans les domaines du conditionnement des déchets, de la conception et de la construction des dépôts résultent principalement d'améliorations progressives des principes de conception et de la technologie disponible pour les mettre en œuvre. On dénombre peu de nouveaux principes de conception et de percées technologiques. L'évolution ces dix dernières années a plutôt été marquée par des améliorations progressives et par la recherche d'une plus grande rigueur dans la démonstration des concepts existants. Les évolutions techniques importantes intervenues au cours de la dernière décennie, concernent notamment :

- Une moindre utilisation du bitume comme matériau de conditionnement des déchets contenant des nitrates et des déchets transuraniens (en Belgique et par la Cogéma en France) et un intérêt croissant pour le verre et les céramiques.
- L'extension de la technologie de la vitrification à des déchets autres que les déchets de haute activité, notamment les déchets transuraniens mixtes.
- La mise au point de conteneurs composites : pour le combustible usé (conteneur interne en acier et surconteneur en cuivre) en Suède et en Finlande, pour les déchets de haute activité (titane ou cuivre avec acier) au Japon, et à la fois pour le combustible usé et les déchets de haute activité (conteneur bimétallique) aux États-Unis. En Suisse, au Japon et en France, en revanche, l'acier seul reste le matériau de référence.
- La mise au point de matériaux de remblayage à base de ciment poreux, spécialement formulé (en Suisse et au Royaume-Uni). De tels matériaux de remblayage sont destinés à conditionner à un pH élevé les eaux souterraines qui s'infiltrent et à favoriser ainsi une faible solubilité et une forte sorption des principaux radionucléides, tout en laissant s'échapper librement les gaz produits par la dégradation des déchets et des matériaux du dépôt.
- La proposition américaine récente d'utiliser comme options de conception des matériaux de remblayage poreux et des « boucliers anti-ruissellement », destinés à gérer les

dégagements de chaleur et à protéger les emballages bimétalliques de l'eau de ruissellement, ce qui permet de prolonger leur durée de vie.

- La mise au point de technologies informatiques et de systèmes de communication et de commande, permettant d'utiliser des équipements télécommandés pour l'installation des colis de déchets et les opérations connexes.

Plusieurs pays ont étudié ou continuent d'étudier, toute une gamme de matériaux et de conceptions possibles et effectuent les recherches associées sur les propriétés des matériaux et leur résistance à la corrosion à long terme. Cependant, les études de faisabilité et de sûreté ne concernent souvent qu'une conception de référence. L'intérêt plus marqué pour la démonstration de la faisabilité d'une fabrication fiable et pour la garantie des performances à long terme se retrouve dans la conception des conteneurs, par exemple, dans la mise au point du conteneur cuivre-acier mentionné ci-dessus ou dans l'étude de l'alliage 22 aux États-Unis et des conteneurs à base de cuivre ou de titane, au Canada. Il est jugé impératif de démontrer la faisabilité de techniques de fabrication conformes aux spécifications (par exemple, uniformité du soudage). C'est le cas en Suède où l'on a fabriqué des prototypes de conteneur en cuivre en vraie grandeur et aux États-Unis, où, pour démontrer la faisabilité du procédé « d'ajustement par contraction », des conteneurs prototypes ont été construits au diamètre définitif et au quart de la longueur selon le concept actuel d'emballage bimétallique de déchets.

Ce souci de la technologie de fabrication et des performances de sûreté dans les conditions régnant dans le dépôt caractérise également les études de matériaux de remblayage qui incluent l'analyse de la compatibilité entre les différents matériaux (ciment/bentonite, par exemple). Concernant la bentonite, on retiendra l'expérience FEBEX (CE 1998e), relative à la fabrication industrielle, la manipulation et la mise en place d'un matériau de remblayage à base de bentonite et à son comportement dans des conditions représentatives de celles d'un dépôt, ainsi que des projets de coopération internationale lancés pour étudier les possibilités de dégagements gazeux à travers une couche de bentonite. La compréhension de la dégradation chimique à long terme de la bentonite et du ciment ainsi que la mise au point et la validation de modèles reproduisant ces processus sont aussi considérés comme prioritaires.

Certains pays ont adopté une démarche plus générale de façon à traiter à la fois les déchets de haute activité et l'évacuation directe du combustible usé ainsi que l'évacuation simultanée d'autres flux de déchets à vie longue. La gamme des différents types de déchets étudiés s'est de ce fait étendue. En particulier, on ressent la nécessité de s'occuper des déchets « anciens », qui parfois sont entreposés depuis de nombreuses années, et des déchets issus du déclassement. Le Royaume-Uni, par exemple, a lancé un programme de grande ampleur pour la reprise, le conditionnement et l'enrobage des déchets anciens. Chaque type de déchet pose, pour son évacuation, des problèmes technologiques qui lui sont propres. Les États-Unis ont lancé également un vaste programme d'assainissement des sites du DOE, avec évacuation des déchets résultants, dont certains devront probablement être placés dans un dépôt de déchets de haute activité. Les États-Unis doivent aussi traiter et évacuer leurs excédents de matières nucléaires de qualité militaire résultant de la réduction de leur arsenal nucléaire (DOE 1997).

Il est évident que les performances globales du système de barrières ouvragées dépendront des propriétés du colis de déchets. Mais on peut modifier ces propriétés en changeant la composition ou le processus de conditionnement. Dans le cas du combustible usé, l'une des options consiste à recourir à des additifs adaptés pour obtenir des performances plus proches de celles que l'on recherche. Toutes les organisations ayant répondu au questionnaire n'ont pas mentionné le conditionnement ni le renforcement des colis comme partie prenante dans la stratégie de conception du système ouvragé,

mais certaines ont noté que cette option pouvait éventuellement contribuer à la constitution d'un système intégré de barrières naturelles et ouvragées.

D'un point de vue strictement technique, l'opinion qui prévaut toujours est que l'évacuation suppose la mise en dépôt des déchets sans intention de les récupérer et que les possibilités de reprise ne doivent pas compromettre les performances à long terme des dépôts. Néanmoins, les préoccupations du public et des hommes politiques ont suscité, dans la communauté technique également, un intérêt accru pour les possibilités d'intégrer des dispositions à la conception ou d'adapter les programmes des opérations en vue de faciliter la reprise des déchets. Au Royaume-Uni et en Suisse, par exemple, la faible résistance du matériau de remblayage proposé pour les dépôts de déchets FMA est considérée par les concepteurs du dépôt comme un avantage, car elle rend plus aisée la reprise des déchets au cas où celle-ci se révélerait nécessaire. Dans plusieurs pays, comme la France, le Canada, la Suisse et les États-Unis, on étudie sérieusement les possibilités de maintenir un dépôt ouvert et sous surveillance pendant une période prolongée, après l'installation des déchets, ainsi que les conséquences techniques de cette option.

S'agissant du développement des techniques d'évacuation, on peut conclure, en général, que la technologie nécessaire existe et peut être mise en œuvre dès que le public et les conditions politiques y seront favorables. Ce point de vue ressort en fait clairement des réponses d'Ontario Hydro au Canada et est implicite dans le commentaire de la Commission d'évaluation environnementale du concept de gestion et d'évacuation des déchets de combustible nucléaire du Canada pour qui, si la sûreté technique est démontrée, le manque d'adhésion du public au projet justifie l'adoption d'une démarche différente (CAN 1998).

A 3.2 Caractérisation du site

Il y a dix ans, de nombreux responsables de programmes nationaux et internationaux ont pris conscience que l'absence de sites identifiés et de données spécifiques à des sites limitait considérablement les possibilités d'évaluer l'intérêt d'un concept de dépôt du point de vue de sa sûreté à long terme et de sa faisabilité. Depuis, un travail considérable a été réalisé pour combler cette lacune. On peut ainsi mentionner les études exhaustives de caractérisation des sites de Sellafield au Royaume-Uni, de Yucca Mountain et de l'installation WIPP aux États-Unis, de Gorleben en Allemagne, de Mol en Belgique, du Wellenberg en Suisse ainsi que les analyses des sites potentiels de dépôts profonds en France.

L'expérience acquise lors des études de caractérisation récentes permet de dégager deux enseignements. En premier lieu, ces études peuvent fournir des données contradictoires, d'où la nécessité de recueillir un supplément d'informations pour comprendre le système, c'est-à-dire pour réduire les incertitudes qui pèsent sur un milieu naturel se révélant plus complexe que les chercheurs ne l'avaient prévu au départ. C'est le cas, par exemple, du site de Yucca Mountain aux États-Unis, où des mesures de ^{36}Cl ont suggéré l'existence de chemins préférentiels permettant un écoulement de l'eau plus rapide que ce qu'avait indiqué la modélisation et ont conduit à revoir la modélisation des écoulements (Wolfsberg, A. V. *et al.*, 1999). En second lieu, on a appris que, même si l'on dispose de bases de données très fournies et que les résultats des calculs de performances sont positifs, il n'est pas garanti que les demandes d'autorisations aboutissent. Des différends techniques entre partisans et adversaires peuvent ralentir les programmes (comme à Sellafield au Royaume-Uni), les événements politiques peuvent entraîner des blocages (comme à Konrad en Allemagne ou au Welleberg en Suisse) ou encore le manque de confiance du public peut imposer la mise en place d'autres mesures avant de pouvoir progresser (expérience canadienne, par exemple).

Plusieurs programmes nationaux utilisent une stratégie plus intégrée de caractérisation des sites. Par exemple, des techniques probabilistes ont été élaborées pour l'optimiser, et les États-Unis, entre autres, ont effectué des évaluations formelles de systèmes de façon à pouvoir orienter les expérimentations et les études de conception sur les domaines les plus prometteurs en termes de sûreté du système et de confiance. La nécessité d'une organisation interactive de la gestion des projets est admise. Ce type d'organisation devrait permettre une coordination efficace de la planification et de la mise en œuvre des études de sites, l'évaluation des caractéristiques du site en fonction du projet, la mise au point de méthodes d'évaluation des performances et l'utilisation de ces méthodes dans les évaluations globales.

Depuis peu, l'accent est mis, dans les programmes de caractérisation des sites, sur les besoins de l'évaluation de la sûreté et, notamment, sur la compréhension des éléments conducteurs d'eau et sur les écoulements des eaux souterraines à travers ces éléments. Il est généralement admis que ces éléments constituent le principal mécanisme de transport à la surface de radionucléides provenant d'un dépôt. D'autres aspects de la caractérisation des sites qui sont importants pour l'analyse de sûreté, comme l'étude hydrogéochimique et l'analyse du rôle des colloïdes, des matières organiques et des processus microbiens potentiels, ont également attiré l'intérêt des chercheurs. La plupart des flux de déchets, cependant, ne contiennent pas de concentrations importantes de matières organiques pouvant avoir une action notable. En outre, le projet ARCHIMEDE (CE 1996a), une étude sur l'argile de Boom conduite en Belgique, laisse penser que, dans ce type particulier de roche hôte, la teneur élevée en matières organiques naturelles n'a pas d'influence majeure sur le transport des radionucléides.

On s'aperçoit de plus en plus que l'hétérogénéité naturelle est omniprésente dans l'environnement géologique et qu'elle a une forte influence sur la sûreté. Même dans des formations géologiques relativement uniformes, comme l'argile de Boom, en Belgique, il peut être nécessaire de caractériser l'hétérogénéité lithologique et tectonique pour obtenir une base de données géologiques se prêtant à l'évaluation des performances.

Les réunions organisées dans le cadre des projets Mirage et THM de la CE (CE 1995 et 1995a) et les séries d'ateliers GEOTRAP de l'AEN (AEN 1997a, 1998 et 1999c) témoignent bien de l'accent mis sur l'acquisition et l'interprétation des données hydrogéologiques. Jusqu'à présent, les responsables de certains programmes ont accordé moins d'attention aux aspects de la caractérisation du site nécessaires pour évaluer la faisabilité technique de la construction, optimiser la conception du dépôt et juger de l'acceptabilité du risque d'intrusion humaine (par exemple, les caractéristiques physiques et géotechniques et la présence de ressources naturelles qui pourraient favoriser l'exploration ultérieure du site). Cependant, la spécification de critères techniques permettant d'évaluer l'acceptabilité d'une roche hôte potentielle (y compris, en Suède, de critères d'acceptation pour des cavités de dépôt individuelles (SKB, 1998, 1998a) a fait des progrès. La définition de ces critères avant le lancement d'un programme de reconnaissance présente le double intérêt de guider l'exécution de ce programme et d'inspirer confiance au public dans la mesure où elle tend à prouver que les responsables du projet seraient prêts à abandonner un site si celui-ci s'avérait inacceptable. Pour cette dernière raison, on se gardera d'établir des critères trop stricts, qui risqueraient de provoquer l'abandon de sites pourtant capables de garantir la santé et la sécurité du public.

Les chercheurs continuent de perfectionner les techniques de mesure et d'interprétation des données et de les tester sur des sites potentiels et dans des laboratoires de recherche souterrains. Les progrès réalisés concernent par exemple :

- la détection de faibles écoulements d'eaux souterraines dans les forages profonds ;
- l'extraction d'échantillons d'eau souterraine non perturbée dans des milieux à faible perméabilité ;

- l'utilisation, dans le cas des milieux non saturés, de méthodes d'échantillonnage des isotopes dans l'environnement, pour mettre en évidence des voies de recharge rapide en eau, anciennes et potentielles ;
- la détermination, par des méthodes électromagnétiques, de la profondeur où se situent les eaux plus salées.

La plupart des responsables de programmes considèrent l'interprétation des données comme un domaine prioritaire. On utilise de plus en plus :

- des techniques 3D de visualisation assistée par ordinateur, comme outil d'interprétation et d'intégration de données relevant de différentes disciplines [par exemple, les données géologiques, hydrogéologiques et géochimiques dans l'évaluation des performances SITE 94 réalisée par SKI (SKI, 1996)] ;
- des outils de modélisation numérique pour représenter l'hétérogénéité, y compris des outils de modélisation probabiliste permettant de prendre en compte la variabilité naturelle qui ne peut être complètement caractérisée (quasi totalité des programmes) ;
- l'interprétation des données hydrochimiques pour obtenir des schémas d'écoulement des eaux souterraines.

En outre, grâce aux meilleures performances des codes de traitement et d'interprétation, les enseignements tirés des données de terrain (lors des campagnes sismiques, par exemple) sont plus pertinents que par le passé.

On juge importante la mise au point de techniques de mesure qui n'altèrent pas les caractéristiques des roches dont l'intégrité est la garantie de la sûreté (techniques RPE, par exemple). Pour les pays sur le point de mettre en place un processus d'implantation systématique, comme le Canada, le développement d'outils électroniques de cartographie géologique et de méthodes d'intégration des données provenant de capteurs à distance et de sources en surface constitue une priorité. Parmi les autres problèmes qui restent à résoudre, on peut mentionner :

- limiter les effets des rares chemins préférentiels pour le transport des radionucléides ;
- identifier les infiltrations et les recharges en eaux souterraines (dans le cas du projet Yucca Mountain aux États-Unis) ;
- déterminer l'influence des gaz sur les propriétés de confinement des formations hôtes ;
- caractériser les colloïdes naturels ;
- déterminer l'influence, en tant qu'agents complexants, des matières organiques sur la migration des radionucléides ;
- déterminer les modifications naturelles et induites de la géosphère.

Bien que certains transferts d'expérience soient possibles entre sites dans le domaine géologique, l'ensemble des résultats recueillis au cours des dix dernières années montre que les problèmes sont souvent propres à un site particulier et appellent donc des solutions spécifiques. On reconnaît en général qu'il est plus difficile qu'on ne l'avait pensé il y a dix ans d'acquiescer la confiance nécessaire dans la sûreté de fonctionnement d'une barrière géologique. Cela expliquerait en partie pourquoi de nombreux programmes accordent un poids de plus en plus important aux barrières ouvragées dans le système d'évacuation.

Il importe cependant de relativiser cette observation. Avant de caractériser un site, il est parfois nécessaire de s'appuyer, pour modéliser les performances, sur une vision plutôt idéalisée des

propriétés du milieu naturel qui n'a pas grand chose à voir avec les réalités et les incertitudes que la caractérisation révélera ensuite. Typiquement, cela signifie que, plus on progresse dans la connaissance du milieu, plus on en perçoit l'hétérogénéité et les incertitudes. Un système robuste de barrières ouvragées contrebalancera ces incertitudes, parfois au risque de surdimensionner le système. Le milieu naturel doit garantir au minimum des conditions satisfaisantes dans le champ proche. Il doit protéger le système de barrières ouvragées des intrusions humaines et des transformations rapides qui s'opèrent en surface ou à faible profondeur. Il doit aussi créer un environnement favorable à une durée de vie prolongée des matériaux qui constituent le système ouvragé (géochimie et écoulement des eaux souterraines, par exemple). Dans tous les cas, le gros de la radioactivité des déchets évacués, ne quitte jamais, physiquement, le champ proche du dépôt. Seule une fraction mineure de l'inventaire de radionucléides peut éventuellement s'échapper du système de barrières ouvragées et migrer lentement hors du dépôt, en suivant des itinéraires tortueux ou être diluée par mélange avec des eaux non contaminées. Ainsi, l'importance actuellement accordée aux barrières ouvragées pour garantir la sûreté ne doit pas faire oublier le fait que l'environnement géologique du dépôt demeure une composante vitale de l'ensemble du système d'évacuation en formation géologique. En outre, il faut se garder de négliger les incertitudes associées aux systèmes technologiques.

A 3.3 Recours aux laboratoires de recherche souterrains

Les laboratoires de recherche souterrains se répartissent en deux grandes catégories :

- Les laboratoires de recherches génériques, utilisés principalement pour obtenir des informations sur un type de roche, afin d'approfondir nos connaissances, de tester des modèles et d'expérimenter les techniques de caractérisation des sites, de construction et d'exploitation des dépôts. Entrent dans cette catégorie les installations d'Asse en Allemagne, de Stripa et d'Äspö en Suède, de Grimsel et du Mont Terri en Suisse, du laboratoire souterrain du Canada, de Tono au Japon et de Tournemire en France.
- Les laboratoires spécifiques à un site, qui font partie intégrante du programme d'étude et d'aménagement d'un site potentiel entrepris avant de construire le dépôt. On peut citer l'installation WIPP et la Yucca Mountain Exploratory Studies Facility (ESF) aux États-Unis, le laboratoire HADES/URF de Mol en Belgique, les futurs laboratoires français et la RCF que souhaitait la Nirex en Angleterre.

Quoi qu'il en soit, les coûts de développement et de fonctionnement de ces laboratoires et la possibilité de partager les connaissances et l'expérience disponibles rendent intéressante la coopération internationale, d'ailleurs en place dans la plupart des installations dont la liste figure au Tableau A3.1. D'autres laboratoires de recherche génériques ou spécifiques à un site sont actuellement prévus, dans la Meuse en France, à Příbram en République tchèque, et à Horonobe au Japon.

Tableau A3.1: **Laboratoires et autres centres de recherche souterrains**
[données tirées notamment de Kickmaier & McKinley (1997)]

Laboratoires de recherche génériques			
Laboratoire souterrain	« Roche hôte » (Profondeur)	Organisation	Remarques
Forschungsbergwerk, Asse, Allemagne	Dôme de sel	GSF	programme de R-D, fermé en 1995.
Laboratoire de recherche souterrain Lac du Bonnet, Manitoba, Canada	Granite (240-420 m.)	EACL	En service depuis 1984.
Tono, Japon	Sédiments	JNC	galeries d'une ancienne mine d'uranium, en service depuis 1986.
Kamaishi, Japon	Granite	JNC	galeries d'une ancienne mine de Fe-Cu, achevées en 1998.
Laboratoire de recherche souterrain de Mizunami, Japon	Granite	JNC	forages en cours.
Mine de Stripa	Granite (360-410 m.)	SKB	galeries d'une ancienne mine de fer, en service de 1976 à 1992.
Laboratoire Roche Dure d'Äspö, Suède	Granite (< 460 m.)	SKB	début de la construction en 1990.
Site de test Grimsel (GTS), Suisse	Granite (450 m.)	Cedra/Nagra	galerie creusée à partir d'une galerie menant à une centrale hydro-électrique, en service depuis 1983.
Projet du Mont Terri, Suisse	Argile à Opalinus (argile raide 400 m.)	SHGN	galerie creusée à partir d'un tunnel d'autoroute, lancement en 1995.
Fanay-Augères, France	Granite	IPSN	galeries dans une mine d'uranium, en service de 1980 à 1990.
Installation de Tournemire, France	Sédiments (argile raide 250 m.)	IPSN	ancien tunnel ferroviaire et galeries adjacentes, en service depuis 1990.

Laboratoires spécifiques à un site			
Laboratoire souterrain	« Roche hôte » Profondeur	Organisation	Remarques
High Activity Disposal Experiment Site (HADES), renommé Underground Research Facility (URF), Mol/Dessel, Belgique	Argile de Boom (argile plastique, 230 m.)	CEN/SCK ONDRAF/NIRAS	1980 (forage de puits), en service depuis 1984, extension en 1998-89.
Tunnel de recherche d'Olkiluoto, Finlande	Granite (Tonalite) (60-100 m.)	Posiva	dépôt d'Olkiluoto, destiné aux déchets de faible et moyenne activité, en service depuis 1992.
Gorleben ⁽¹⁾ , Basse Saxe, Allemagne	Dôme de sel, (>900 m.)	BfS , DBE	site de dépôt potentiel, construction des puits 1985-1990, galeries en construction depuis 1997.
WIPP; Carlsbad, Nouveau Mexique, États-Unis	Sel (en couches), Formation de Salado, (650 m.)	USDOE-CAO	en service depuis 1982.
Exploratory Studies Facility (ESF); Yucca Mountain, Nevada, États-Unis.	Tuf soudé de Calico Hills, (300 m.)	USDOE	début des expérimentations <i>in situ</i> en 1996; construction d'un tunnel exploratoire en 1998.

Note: Le laboratoire de Gorleben a été choisi pour mener des recherches en profondeur destinées à démontrer la faisabilité d'un dépôt sur ce site.

La plupart des organisations participant aux projets de laboratoires souterrains sont d'accord sur les informations utiles que les mesures réalisées dans ces laboratoires peuvent fournir. Ces informations concernent les points mentionnés dans le tableau A3.2.

Tableau 3.2: **Informations fournies par les laboratoires et autres centres de recherche souterrains [données tirées notamment de Kickmaier & McKinley (1997)]**

Classe d'informations	Exemples
Poursuite de la mise au point et de l'expérimentation des techniques d'excavation.	<ul style="list-style-type: none"> • Mol : démonstration de la faisabilité technique du forage de galeries dans les argiles plastiques. • Olkiluoto : études des performances des technologies d'évacuation .
Quantification de l'impact des travaux d'excavation (échelles régionale et locale ; perturbations physiques et chimiques).	<ul style="list-style-type: none"> • Expérience ZEDEX à Äspö. • Expérience EDZ à Grimsel. • Expériences au Mont Terri. • Essais thermiques, mécaniques et hydrauliques dans le Laboratoire de recherche souterrain du Canada.
Mise en œuvre de stratégies de reconnaissance des sites et de stratégies d'adaptation des systèmes souterrains à mesure que l'on collecte de nouvelles données.	<ul style="list-style-type: none"> • Galerie d'expérimentation sur les cavités d'évacuation en vraie grandeur du site d'Olkiluoto. • Application de méthodes géophysiques à Grimsel et Stripa.
Intégration des résultats pour en tirer des conclusions, des modèles conceptuels et des prévisions concernant la circulation des eaux souterraines (écoulement diphasique).	<ul style="list-style-type: none"> • Groupe de travail sur l'écoulement des eaux souterraines et la modélisation à Äspö. • Expériences au Mont Terri. • Tests de ruissellement dans la zone non saturée à l'ESF.
Tests de modèles, de méthodes d'exploration et de processus pouvant intervenir lors du transport des radionucléides à travers la roche.	<ul style="list-style-type: none"> • Étude du retard de la migration des radionucléides à Grimsel. • Expériences à Mont Terri. • Test de transport en zone non saturée à l'ESF. • Expériences de transport et de diffusion de solutés dans le Laboratoire de recherche souterrain du Canada.

<p>Simulation des effets de la mise en place de déchets radioactifs (dégagement de chaleur, relâchement de nucléides, effets mécaniques).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Projet CERBERUS à Mol. • Projet TSS à Asse. • Projet FEBEX à Grimsel. • Essai de chauffage à Stripa, à l'ESF et à Grimsel. • Expériences programmées au Mont Terri. • Essais mécaniques, thermiques et hydrauliques dans le Laboratoire de recherche souterrain au Canada.
<p>Démonstration de la faisabilité des systèmes de barrières ouvragées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Scellements de forages et essais sur les masses tampons à Stripa. • Projet FEBEX à Grimsel. • Expériences programmées au Mont Terri. • Tests de matériaux de remblayage et de conteneurs dans le Laboratoire de recherche souterrain au Canada. • Projet RESEAL à Mol.
<p>Expériences portant sur les processus à long terme, les phases post-fermeture, la corrosion géochimique, la stabilité géomécanique, etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Démonstration du concept en Belgique (PRACLAY). • Test <i>in-situ</i> de processus thermiques, hydrauliques et mécaniques couplés et validation de modèles à Kamaishi. • Expériences programmées au Mont Terri. • Dépôt de démonstration en Suède. • Tests thermiques, mécaniques et hydrauliques dans le Laboratoire de recherche souterrain au Canada.

L'importance accordée à ces différents points peut cependant varier d'une organisation à l'autre. En particulier, certaines questions sont spécifiques à un type de roche ou un concept de dépôt (par exemple, l'utilisation ou non de ciment comme matériau de construction conditionne la pertinence des tests relatifs aux effets d'un panache hyperalcalin dans le tuf non saturé de Yucca Mountain). Néanmoins, la collaboration internationale tend à se développer, aussi bien pour la conception des programmes de R&D menés dans les laboratoires souterrains (par exemple, Äspö, Grimsel et Mont Terri), que pour la réalisation d'expériences spécifiques (études entreprises sous l'égide de l'UE pour le laboratoire de Mol en Belgique et le laboratoire d'Asse en Allemagne).

Certaines tendances se dessinent dans les programmes de R&D menés dans les laboratoires souterrains (Kickmaier & McKinley, 1997, plus réponses au questionnaire). L'intérêt pour les études fondamentales de faisabilité et l'accumulation de données géologiques de base décline au profit de l'optimisation des méthodes et des tests des principaux modèles d'évaluation des performances. Ces tendances s'appliquent davantage, bien sûr, aux laboratoires de recherche génériques qu'aux études souterraines de la faisabilité d'un site spécifique, pour lesquelles il convient de définir les bases de la modélisation des performances du système sur ce site. On accorde également une importance croissante aux expériences pleine échelle « de démonstration », réalisées, dans les laboratoires

souterrains, sur les systèmes de barrières ouvragées destinés aux déchets de haute activité et au combustible usé – par exemple FEBEX à Grimsel (CE, 1998^e), RESEAL (CE, 1998d), PRACLAY (EUR 18047), les expériences conduites à Mol en Belgique, et dans le dépôt de démonstration prévu en Suède. Cela pourrait refléter l'accent mis actuellement sur les systèmes de barrières ouvragées dans certaines évaluations des performances, et que nous avons évoqué précédemment.

Cette tendance à la collaboration présente comme avantage indirect de favoriser la multiplication et l'approfondissement des contacts internationaux et interdisciplinaires, dont peuvent bénéficier d'autres aspects de l'aménagement de dépôts. Enfin, des visites des laboratoires souterrains et la mention de ces laboratoires dans des brochures d'information sont un moyen de renforcer la confiance du public dans la faisabilité d'une évacuation sûre.

A 3.4 Utilisation des analogues naturels

Beaucoup considèrent que les analogues naturels et anthropiques (et les études du transport de traceurs naturels dans les eaux souterraines de milieux naturels), de même que les études d'analogues sur des sites envisagés, pourront compléter les données obtenues par les techniques de caractérisation des sites ainsi que lors d'expérimentations menées dans les laboratoires de recherche souterrains (par exemple, les expériences *in situ* de transport effectuées à l'aide de traceurs). Ces études peuvent offrir en particulier un moyen de s'affranchir des limites spatio-temporelles inhérentes à ces techniques (AEN, 1997a). En outre, pour l'information du public, elles auraient le mérite de démontrer que le confinement géologique à long terme des déchets est une stratégie raisonnable.

L'interprétation s'avère toutefois complexe, en raison du manque d'informations concernant, par exemple, les conditions initiales du système analogue (ce problème se pose moins dans le cas des analogues anthropiques, bien qu'ils fournissent des données relatives à des échelles de temps assez courtes). C'est pourquoi, il est rare que les données sur les analogues naturels soient utilisées directement dans l'évaluation des performances d'un dépôt. Ces analogues sont plutôt considérés comme une composante du processus de renforcement de la confiance. Ils viennent en effet confirmer les connaissances qualitatives et (moins souvent) quantitatives que l'on a des principaux processus. Voici quelques exemples des enseignements tirés de l'étude des analogues :

- Connaissances sur l'oxydation de l'uranium et la migration de l'oxyde d'uranium grâce aux études de la NRC sur des sites d'analogues au Mexique et en Grèce (Smellie *et al.*, 1977) (Murphy *et al.*, 1997).
- Amélioration des connaissances sur les processus conditionnant le comportement du combustible usé mis dans un dépôt aménagé dans une roche cristalline, dans un environnement réducteur et protégé par des argiles, grâce aux études menées dans l'analogue de Cigar Lake au Canada (Cramer J. J., et Smellie J.A.T., 1994).
- Démonstration, par les études sur les argiles naturelles citées par la Cedra/Nagra, du maintien, sur une période très longue, de la capacité de gonflement, de la perméabilité et de la capacité d'échange d'ions de la bentonite, dans les conditions régnant dans un dépôt (Miller *et al.*, 1994, Chapitre 4.4).
- Démonstration de la stabilité des gels de ciment, de l'absence de colloïdes et d'agents complexants organiques et du niveau très bas de l'activité microbienne sur le site de Maqarin, en Jordanie et à Oman (CE, 1996b, SKB, 1998b).

- Observation de la diffusion de l'uranium dans la matrice rocheuse : granite sur le site d'El Berrocal, en Espagne (CE 1997c), roches cristallines au nord de la Suisse et à Grimsel (Miller *et al.*, 1994, Chapitre 4.4).
- Validation par l'USDOE des données thermodynamiques utilisées dans le code EQ3/6 pour modéliser les interactions roches/eau, grâce à l'étude de données géochimiques enregistrées dans les puits situés dans les gisements géothermiques de Wairakei en Nouvelle Zélande, (Glassley, 1994).
- Pocos de Caldas, vaste étude internationale de la solubilité et du transport des radionucléides dans des gisements d'uranium et de thorium et leurs alentours (Miller *et al.*, 1994).

Les analogues naturels permettent également de prouver que l'on n'a négligé aucun processus ou phénomène à long terme potentiellement important (AEN, 1997) et, de surcroît, sont de nature à susciter une confiance générale dans le comportement géologique d'un dépôt. Aujourd'hui, les domaines à approfondir sont la comparaison quantitative entre les prévisions tirées de modèles et les observations effectuées sur les analogues, et l'intégration des analogues naturels dans les analyses des performances.

Les exercices portant sur des analogues naturels sont souvent réalisés en collaboration par plusieurs organisations. On peut citer les projets de l'AEN ARAP et ASARR portant sur les gisements d'uranium de Koongarra dans le Territoire du Nord en Australie (ARAP, 1992 ; ASARR, 1996) et les travaux du Groupe de travail sur les analogues naturels de la CE (CE, 1997a ; CE, 1998). Les organisations participantes ont tiré parti des contacts internationaux et interdisciplinaires que favorisent ces collaborations.

Dans le programme canadien actuel, il est prévu de lancer une nouvelle étude d'analogie à Terre-Neuve, qui portera sur les propriétés de corrosion du cuivre, et d'achever les études en cours sur les propriétés de la bentonite dans un gisement de cuivre du Saskatchewan. Les États-Unis ont des projets d'étude d'analogues naturels dont l'objectif est de produire des données que l'on exploitera dans la phase d'autorisation et ultérieurement. L'USDOE, par exemple, envisage sérieusement la possibilité de relancer une étude à Pena Blanca, au Mexique.

Actuellement, les organisations de gestion des déchets n'utilisent pas les analogues de manière systématique pour intégrer les connaissances et la confiance acquise sur les systèmes de dépôt dans les modèles et les bases de données, bien que des aspects liés à l'évaluation des performances aient été étudiés spécifiquement dans le cadre du projet d'étude de l'analogie naturel de Palmottu, en Finlande (CE, 1996b). Ces organisations se servent de ces analogues pour obtenir des informations sur des questions et des phénomènes particuliers. En revanche, l'intérêt des analogues naturels dans le débat public est reconnu, et différents programmes ont été lancés pour produire des vidéos et des brochures consacrées à ce sujet.

Annexe 4

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES RÉPONSES : ÉVALUATION DES PERFORMANCES ET ANALYSES DE SÛRETÉ

A 4.1 Progrès des évaluations des performances et des analyses de sûreté

Le tableau A4.1 contient une synthèse des évaluations des performances effectuées depuis 1990, accompagnée d'un bref exposé de leurs finalités.

Tableau A4.1: **Évaluations des performances et analyses de sûreté réalisées récemment (au cours des dix dernières années) (tiré en partie du Tableau 2 du rapport de 1997 de l'AEN)**

Organisation	Finalité de l'évaluation des performances/analyse de sûreté	Documentation
ECN, RIVM, RGD, Pays-Bas	<ul style="list-style-type: none">• Étudier l'option de dépôt de déchets dans une formation salifère.	(Prij <i>et al.</i> , 1993).
EACL, Canada	<ul style="list-style-type: none">• Appuyer les décisions des instances réglementaires (ou d'autres organismes) concernant le développement futur du programme sur les déchets nucléaires.	<p>« The disposal of Canada's nuclear fuel waste : Post-closure assessment of a reference system » (Goodwin <i>et al.</i>, 1994).</p> <p>« The disposal of Canada's nuclear fuel waste : A study of the post-closure assessment of in-room emplacement of used CANDU fuel in copper containers in permeable plutonic rock » (Goodwin <i>et al.</i>, 1996).</p>

Tableau A4.1(suite) : **Évaluations des performances et analyses de sûreté réalisées récemment (au cours des dix dernières années) (tiré en partie du Tableau 2 du rapport de 1997 de l'AEN)**

Organisation	Finalité de l'évaluation des performances/analyse de sûreté	Documentation
NRI ; RAWRA ; République tchèque	<ul style="list-style-type: none"> Évaluer le rôle des barrières dans un système de dépôt de référence. 	BAZ 97-02, Rôle du système de référence dans le développement des dépôts géologiques profonds (Konopaskova <i>et al.</i> , 1997)
Enresa, Espagne	<ul style="list-style-type: none"> Mettre au point une méthode d'évaluation des performances. Évaluer le rôle des barrières dans une roche hôte granitique. 	ENRESA-97 – Évaluation des performances d'un dépôt de combustible usé aménagé dans le granite (ENRESA, 1997).
	<ul style="list-style-type: none"> Mettre au point une méthode d'évaluation des performances. Évaluer le rôle des barrières dans une roche hôte argileuse. 	ENRESA-98 – Évaluation des performances d'un dépôt de combustible usé aménagé dans l'argile (ENRESA, 1998).
Commission européenne	<ul style="list-style-type: none"> Étudier l'impact radiologique de l'évacuation des déchets dans l'argile de Boom (déchets de moyenne activité) 	« PACOMA – Performance assessment of the geological disposal of medium-level and alpha waste in a clay formation in Belgium » (Marivoet et Zeevaert 1990).
	<ul style="list-style-type: none"> Étudier l'impact radiologique de l'évacuation des déchets dans l'argile de Boom (combustible usé) 	« First Performance Assessment of the Disposal of Spent Fuel in a Clay Layer » (Marivoet <i>et al.</i> , 1996).
		Projet SPA (SPent Fuel Assessment) (CE 1998f).
	<ul style="list-style-type: none"> Analyse de sensibilité des systèmes d'évacuation géologique dans l'argile, le granite et le sel. 	« Evaluation of elements responsible for the effective engaged dose rates associated with the final storage of radioactive waste : EVEREST project » (Cadelli N. <i>et al.</i> , 1996 Marivoet J. <i>et al.</i> , 1997).
Andra, France	<ul style="list-style-type: none"> Réaliser une évaluation préliminaire du scénario d'évolution normale pour chacun des trois sites potentiels de dépôt. 	

Tableau A4.1(suite) : **Évaluations des performances et analyses de sûreté réalisées récemment (au cours des dix dernières années) (tiré en partie du Tableau 2 du rapport de 1997 de l'AEN)**

Organisation	Finalité de l'évaluation des performances/analyse de sûreté	Documentation
GRS, Allemagne	<ul style="list-style-type: none"> Étudier différentes options d'évacuation des déchets. 	Analyse de la sûreté à long terme de concepts de dépôt de déchets générateurs de chaleur (Buhmann <i>et al.</i> , 1991).
Cedra/Nagra, Suisse	<ul style="list-style-type: none"> Apporter des arguments justifiant la sélection de sites ou de milieux géologiques où aménager un dépôt de déchets de haute activité et de déchets de moyenne activité à vie longue. Résumer et focaliser les travaux de R&D, apporter des éléments permettant de justifier leur poursuite. Marquer une étape dans le processus en cours d'évaluation des méthodes d'analyse de la sûreté. 	« <i>Kristallin-I Safety Assessment Report</i> » (Cedra/Nagra, 1994).
	<ul style="list-style-type: none"> Évaluer l'impact des déchets de moyenne activité issus du retraitement sur les performances du dépôt. 	Rapports internes
	<ul style="list-style-type: none"> Apporter des éléments à l'appui du choix d'un site de dépôt de déchets de faible et moyenne activité. 	(Cedra/Nagra 1993)
	<ul style="list-style-type: none"> Appuyer une demande d'autorisation générale pour un dépôt de déchets de faible et moyenne activité. 	(Cedra/Nagra 1994a)
HMIP, Royaume-Uni	<ul style="list-style-type: none"> Tester les capacités des EPR dépendant du temps, à partir de l'analyse de dépôts de déchets FMA hypothétiques sur le site d'Harwell. 	Dry Run 3: Trial assessment of underground disposal based on probabilistic risk analysis (Sumerling ed. , 1992)

Tableau A4.1(suite) : **Évaluations des performances et analyses de sûreté réalisées récemment (au cours des dix dernières années) (tiré en partie du Tableau 2 du rapport de 1997 de l'AEN)**

Organisation	Finalité de l'évaluation des performances/analyse de sûreté	Documentation
Nirex, Royaume-Uni	<ul style="list-style-type: none"> Étape du développement itératif d'un concept d'évacuation. 	Nirex 95: « A Preliminary Analysis of the Groundwater Pathway for a Deep Repository at Sellafield » (Nirex, 1995a).
	<ul style="list-style-type: none"> Prouver que l'on est en général capable d'évaluer les performances des sites pressentis. Démontrer la prise en compte des données de caractérisation du site et d'autres informations issues des travaux de R-D, dans une évaluation. 	Nirex 97: « An Assesment of the Post-closure Performance of a Deep Waste Repository at Sellafield » (Nirex 1997).
ONDRAF/NIRAS SCK/CEN, Belgique	<ul style="list-style-type: none"> Étudier l'impact radiologique de l'évacuation de déchets dans l'argile de Boom (déchets de haute et moyenne activité). 	UPDATING 1990 – Updating of the performance assessments of the geological disposal of high-level waste in the Boom Clay (Marivoet, 1991).
JNC, Japon	<ul style="list-style-type: none"> Faire le point sur l'état des travaux de R&D et les résumer, apporter des éléments permettant de justifier leur poursuite. 	Research and Development on Geological Disposal of High-level Radioactive Waste – First Progress Report (PNC, 1993).
	<ul style="list-style-type: none"> Poursuivre la démonstration de la faisabilité technique et de la fiabilité du concept d'évacuation géologique. Apporter des éléments permettant de sélectionner des sites et de mettre au point les réglementations. 	The Second Progress Report : H12 Project for Assessment of Feasibility of HLW Disposal in Japan (JNC 1999).
SKB, Suède	<ul style="list-style-type: none"> Réaliser une étape du processus en cours d'évaluation des méthodes d'analyse de la sûreté. 	SKB-91, Final Disposal of Spent Nuclear Fuel ; Importance of the Bedrock for Safety (SKB, 1992).
		SKB-97 (publication prévue à l'automne 1999)

Tableau A4.1 (suite) : **Évaluations des performances et analyses de sûreté réalisées récemment (au cours des dix dernières années) (tiré en partie du Tableau 2 du rapport de 1997 de l'AEN)**

Organisation	Finalité de l'évaluation des performances/analyse de sûreté	Documentation
SKI, Suède	<ul style="list-style-type: none"> • Se doter de moyens d'expertise réglementaire (données génériques). 	SKI Project-90 (SKI, 1991).
	<ul style="list-style-type: none"> • Se doter de moyens d'expertise réglementaire • Démontrer la prise en compte des données de caractérisation du site et d'autres informations issues des travaux de R-D, dans une évaluation. 	SKI SITE 94 Deep Repository Performance Assessment Project (SKI, 1996).
POSIVA, Finlande	<ul style="list-style-type: none"> • Appuyer les décisions des instances réglementaires (ou d'autres organismes) concernant le programme de gestion des déchets nucléaires. • Apporter des éléments permettant de sélectionner des sites ou des milieux géologiques. • Faire le point sur l'état des travaux de R-D et les résumer, apporter des éléments permettant de justifier leur poursuite. 	TVO-92 Safety Analysis of Spent Fuel Disposal (Vieno <i>et al.</i> , 1992).
		TILA 96 Safety Assessment (Vieno and Nordman, 1996).
DOE/WIPP, États-Unis	<ul style="list-style-type: none"> • Engager des discussions techniques avec l'instance réglementaire, avant le dépôt d'une demande d'autorisation finale. • Apporter des éléments permettant de sélectionner des sites ou des milieux géologiques. 	Draft 40 CFR 191 Compliance Certification Application (DCCA) for the Waste Isolation Plant (SNL 1995).
US NRC, États-Unis	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre au point et démontrer la méthodologie d'évaluation des performances. 	Initial demonstration of NRC's capability to conduct a performance assessment for a high-level waste repository (Codell <i>et al.</i> , 1992).

Tableau A4.1 (suite) : **Évaluations des performances et analyses de sûreté réalisées récemment (au cours des dix dernières années) (tiré en partie du Tableau 2 du rapport de 1997 de l'AEN)**

Organisation	Finalité de l'évaluation des performances/analyse de sûreté	Documentation
US NRC, États-Unis	<ul style="list-style-type: none"> • Se doter de moyens d'expertise réglementaire. 	NRC Iterative Performance Assessment Phase 2 : Development of capabilities for review of a performance assesment for a high-level waste repository (Wescott <i>et al. eds.</i> , 1995).
	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer ses moyens d'expertise réglementaire • Mettre au point une réglementation applicable au site de Yucca Mountain. 	Iterative Performance Assessment Phase 3 : status of activities (Manteufel and Baca, 1995).
US DOE/YMP, États-Unis	<ul style="list-style-type: none"> • Obtenir un retour d'informations sur l'importance relative des données de caractérisation et de conception propres au site. • Mettre au point des modèles plus fiables pour démontrer la conformité d'un projet. 	Total System Performance Assesment for Yucca Mountain – SNL Second Iteration (TSPA-1993) (Wilson <i>et al.</i> , 1994). Total System Performance Assesment – 1993 : An Evaluation of the Potential Yucca Mountain Repository (Andrews <i>et al.</i> , 1994).
	<ul style="list-style-type: none"> • Apporter des éléments permettant de sélectionner des sites ou des milieux géologiques. • Fournir aux décideurs « un instantané » des performances d'un dépôt potentiel. 	Total-System Performance Assessment – 1995 : An Evaluation of the Potential Yucca Mountain Repository (CRWMS M&O 1995). Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain, Total System Performance Assessment (U.S. Department of Energy, 1998).

Note: PNC a été réorganisée et rebaptisée, depuis le 1er octobre 1998, Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC).

Le Groupe de travail de l'AEN sur les analyses intégrées de performance des dépôts profonds (AEN, 1997) a revu une sélection d'évaluations des performances réalisées au cours de la période 1991-1996. Il est parvenu à la conclusion que l'Opinion collective de l'AEN/AIEA/CCE de 1991 (AEN, 1991), qui affirme que l'on dispose aujourd'hui de méthodes d'évaluation de la sûreté permettant d'estimer avec une bonne fiabilité les performances d'un dépôt profond, restait valable. En particulier, bien que l'utilisation plus fréquente de données provenant sur des sites réels (et les spécifications plus détaillées pour la conception des dépôts) ait présenté de nouvelles difficultés et nécessite des ressources plus importantes que les analyses de performances antérieures, l'application des méthodes d'évaluation des performances n'a pas posé de nouveaux problèmes insurmontables (AEN, 1997).

Parmi les composantes de l'évaluation des performances qui ont le plus progressé, on peut mentionner :

- la compréhension des performances et des rôles respectifs des composants du système ;
- le traitement des incertitudes ;
- la présentation des résultats des évaluations ;
- la prise en compte des données recueillies lors du choix et de la caractérisation du site et lors de la conception du dépôt.

Nous reviendrons sur ces aspects dans les sections suivantes. Par ailleurs, la nécessité de traiter des jeux de données volumineux concernant les sites a conduit à perfectionner la formalisation des méthodes de réduction des données destinées aux modèles d'évaluation. On a également constaté une utilisation plus élaborée des codes probabilistes et une meilleure connaissance des points forts et des faiblesses des techniques d'évaluation probabiliste, par rapport aux approches déterministes (AEN, 1997). Certains programmes combinent désormais les deux méthodes.

Les domaines de l'évaluation des performances dans lesquels il serait nécessaire ou tout au moins souhaitable, de progresser encore sont, entre autres :

- la sorption par les produits de corrosion des conteneurs, qui peut contribuer pour beaucoup à la sûreté de certains concepts de dépôt, mais que l'on ne peut en général pas prendre en compte dans l'évaluation des performances, faute de données quantitatives suffisantes ;
- le traitement des événements et des changements géologiques et climatiques (AEN, 1999c), bien que l'on sache mieux aujourd'hui mesurer l'incidence des modifications climatiques (voir, par exemple, l'évaluation des performances SKI SITE 94) et que les États-Unis aient essayé à plusieurs reprises de quantifier les effets d'un changement climatique et d'événements volcaniques ou sismiques sur les performances d'un système ;
- le traitement de phénomènes couplés⁶ (thermiques, chimiques, mécaniques et hydrologiques) pouvant influencer, par exemple, sur la phase initiale d'échauffement et de restauration d'un matériau de remblayage mais aussi sur ses performances à long terme [FEBEX (CE, 1998e), PRACLAY (EUR 18047)] ;

6. Des expériences à grande échelle ont été entreprises afin d'approfondir notre connaissance de ces phénomènes et de tester des modèles les reproduisant (les tests d'échauffement à grande échelle sur le site de Yucca Mountain, l'expérience FEBEX à Grimsel et les expériences en laboratoire à grande échelle réalisées dans le cadre du programme JNC ENTRY, au Japon).

- l'impact des gaz produits par les matériaux du dépôt, y compris les déchets, sur les performances du système [par exemple, le projet PEGASUS de la CE (CE, 1997b)] ;
- la capacité des colloïdes de favoriser la migration des radionucléides (US Department of Energy 1998, par exemple).

Si les progrès de la connaissance de ces différents aspects contribuent évidemment à asseoir la confiance dans la sûreté d'un dépôt, on est en droit de se demander quand cette confiance sera jugée suffisante. L'évaluation quantitative des dépôts comporte inévitablement des incertitudes, en particulier sur les très longues périodes de temps concernées, à savoir des milliers, voire des millions, d'années. Par conséquent, il est de plus en plus admis que, pour être digne de confiance, un dossier de sûreté doit respecter les deux principes ci-dessous (AEN, 1999b) :

- Le système de dépôt doit posséder une sûreté intrinsèque, reposant sur l'emploi de systèmes simples mais robustes et sur le choix d'un site judicieux de sorte que les incertitudes relatives aux caractéristiques d'un composant spécifique quelconque n'aient qu'une influence marginale sur la sûreté à long terme du dépôt.
- La qualité et la fiabilité de l'analyse de sûreté doivent atteindre un niveau minimum. Pour ce faire, il est possible de recourir, par exemple, à des modèles d'évaluation des performances suffisamment éprouvés et à des bases de données intégrant des hypothèses prudentes, en cas d'incertitude.

L'application du premier principe peut être source d'ambiguïté lorsque, pour fournir davantage de garanties et améliorer la sûreté, les responsables des projets proposent des concepts de type avancé, plus complexes. Les marges de sûreté supplémentaires que devraient apporter le renforcement du système de barrières compensent-elles les incertitudes supplémentaires que présente l'évaluation du comportement de ces barrières et de leurs interactions avec d'autres composants du système ? La proposition d'utiliser des boucliers anti-ruissellement ou des revêtements en céramique pour réduire la probabilité et l'importance du ruissellement de l'eau sur les colis de déchets, dans le projet de Yucca Mountain, ou la création, dans un environnement saturé, d'un système complexe de barrières ouvragées à multiples composantes – des conteneurs composites, un remblayage en bentonite spécialement traitée et des couches intermédiaires en matériaux différents – traduisent bien ces interrogations. Il convient de bien peser l'intérêt de ces concepts par rapport à des structures présentant des comportements physiques et chimiques plus simples.

Le système de barrières ouvragées peut être conçu de façon si robuste que les exigences relatives au site deviennent minimales. Cependant, même dans ce cas, le site doit offrir un environnement géologique adéquat – par exemple, protéger le dépôt des événements se produisant en surface et garantir un faible débit d'écoulement des eaux souterraines et des conditions géochimiques favorables. L'analyse des performances du système et la démonstration de la solidité de cette analyse nécessitent plusieurs types de calcul : à l'échelle du système et des sous-systèmes, des calculs probabilistes et déterministes, mais aussi des calculs simplifiés et des calculs des conditions aux limites. Tous ces calculs ont été effectués pour l'étude majeure canadienne d'impact sur l'environnement réalisée récemment. On mentionnera aussi l'application de procédures d'assurance qualité plus rigoureuses (AQ) aux travaux de R-D, aux décisions de procéder à des évaluations, au contrôle des jeux de données d'entrée-sortie et à la mise au point des codes, qui a renforcé la crédibilité des résultats des évaluations de performances. Les expertises indépendantes font désormais partie des procédures d'assurance-qualité dans de nombreux programmes. C'est ainsi que l'AEN a réalisé des expertises du concept canadien d'évacuation permanent des déchets de combustible nucléaire, du Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) et du Projet SITE 94 de SKI relatif à l'évaluation des performances des dépôts profonds. Dans le cadre d'une étude récente, les chercheurs ont conçu des environnements

informatiques spécifiquement adaptés au processus d'assurance de la qualité des calculs réalisés pour les évaluations de performances, qui garantissent à la fois la reproductibilité et la traçabilité des résultats (par exemple, le système CASAPA, Japon, Neyama *et al.*, 1998).

A 4.2 Connaissance des composants du système

Avant de procéder aux analyses du système de dépôt intégré, il faut impérativement posséder une connaissance quantitative suffisante du comportement des composants du système. Pour un concept de dépôt typique, les analyses de sûreté ou les évaluations des performances portent sur les composants suivants :

- (i) le colis de déchets ;
- (ii) les structures ouvragées autour des déchets, comprenant, par exemple, les conteneurs de haute intégrité et les matériaux de remblayage ;
- (iii) la roche hôte dans laquelle les déchets sont installés et l'environnement géologique ;
- (iv) la biosphère.

Les éléments (i) et (ii) sont couramment appelés « champ proche »⁷ et l'élément (iii) « champ lointain » ou « géosphère ».

À chacun de ces éléments sont associées une ou plusieurs fonctions de sûreté. La fonction de la barrière géologique, par exemple, peut être double. Premièrement, un bon environnement géologique constituera effectivement un obstacle au relâchement et au transport de nucléides, s'il se comporte comme prévu. En revanche, on demande moins à la formation géologique si sa seule fonction est de seconder celles de la barrière ouvragée et de constituer un milieu protégé et stable pour le système ouvragé sur des périodes prolongées.

Les différentes barrières peuvent aussi avoir plusieurs fonctions de sûreté. Par exemple, les fûts en acier peuvent assurer, dans une première phase, un parfait confinement des radionucléides, après quoi, il est possible que les produits de la corrosion de ces conteneurs créent des conditions chimiques favorisant la rétention des nucléides au sein du remblayage. C'est pourquoi les différents composants d'un dépôt doivent être considérés comme des éléments complémentaires. Ce point de vue est à opposer à la description traditionnelle des dépôts fondée sur l'analogie avec des poupées gigognes, à savoir des systèmes de barrières multiples et indépendantes. Il est important que les éléments soient compatibles ; les matériaux de remblayage, par exemple, doivent présenter une compatibilité géochimique avec l'environnement géologique. À travers l'évaluation des performances, de nombreux programmes nationaux et internationaux ont cherché à mieux comprendre ces fonctions de sûreté et leur importance relative.

Concernant les performances des différentes barrières de sûreté, des progrès importants peuvent être signalés :

- la modélisation plus réaliste des processus qui peuvent entraîner la détérioration et la rupture des conteneurs (par exemple, le modèle RARECAN du britannique Nirex (Nirex, 1995b), les expérimentations et modélisations des mécanismes de corrosion et de la

7. Le terme « champ proche » englobe parfois les parties de la roche hôte qui sont perturbées par la présence des structures ouvragées, par exemple la zone perturbée par l'excavation. Il peut aussi désigner uniquement les parties de la roche qui ont une influence directe sur le système de barrières ouvragées.

durée de vie des conteneurs réalisées par l'ONDRAF/NIRAS, CEN/SCK, JNC, la Cedra/Nagra, SKI, le DOE et l'Enresa, les travaux d'EACL) ;

- la compréhension des mécanismes de dégradation des colis de déchets (par exemple, les études expérimentales sur la dissolution des verres menées par la Belgique, le Japon et la Suisse ; les travaux effectués par l'Enresa, mais aussi au Canada, en Allemagne et aux États-Unis, sur les processus de lixiviation du combustible usé dans des conditions de laboratoire) ;
- la modélisation des ruptures précoces de conteneurs (SKB, 1997, US DOE, 1998) ;
- l'utilisation élaborée des codes et des données géochimiques pour simuler la composition et l'évolution de l'eau porale (par exemple, l'étude de la Cedra/Nagra, le modèle HARPHRQ de Nirex (Nirex 1996) ou les modèles de la série EQ3 et 6 de l'US DOE), et pour établir la spéciation des éléments et l'équilibre de solubilité (AEN, 1997) ;
- les effets des propriétés du champ proche et du champ lointain sur l'évolution thermique du dépôt (ESF, Laboratoire de recherche souterrain canadien et autres, bien qu'il soit, comme on l'a noté, souhaitable de poursuivre les travaux dans ce domaine) ;
- l'utilisation de modèles tridimensionnels de l'écoulement des eaux souterraines, reproduisant aussi les effets de la densité et les effets transitoires, et l'utilisation de modèles intégrant la variabilité naturelle des milieux hydrogéologiques, reposant sur des données *in situ* (AEN, 1997 ; par exemple, l'emploi de modèles mixtes déterministes/stochastiques de réseaux de fractures discrètes dans l'évaluation des performances SITE 94 de SKI, l'emploi de modèles 3D d'écoulement des eaux souterraines sur une gamme d'échelles par la Cedra/Nagra et d'une modélisation à double perméabilité aux États-Unis) ;
- la modélisation du transport dans la géosphère à travers des milieux fracturés et non saturés et le test de ces modèles à l'aide des données *in situ* (avec prise en compte de l'effet des colloïdes sur la migration des radionucléides, par exemple par l'US DOE et par la Cedra/Nagra) ;
- la modélisation, sur des bases plus solides, de processus particuliers (y compris, le volcanisme et ses effets, les colloïdes, les rejets facilités par la présence de gaz) (AEN, 1997) et des interactions entre les composants du dépôt (par exemple, l'étude de l'ONDRAF/NIRAS sur l'interaction entre les déchets vitrifiés, le remblayage argileux et la roche hôte, et les études de la NRC des États-Unis et de l'EACL sur l'interaction entre les emballages de déchets et le champ proche).

Concernant la géosphère, il s'agit essentiellement de savoir, pour l'évaluation des performances, dans quelle mesure il est possible de se fier aux données fournies par la caractérisation du site pour juger si ce composant du système de dépôt assurera ses fonctions (ou pour étayer les analyses démontrant que ces fonctions sont réalisées). À cet égard, nous examinerons ci-dessous en quoi l'évaluation des performances peut orienter les programmes de recherche sur le terrain et en laboratoire.

En général, on peut dire que les modèles de transport dans le champ proche et la géosphère inspirent davantage confiance et que les modélisations correspondantes sont plus réalistes qu'il y a dix ans. Des expériences à grande échelle ont permis de tester les modèles du champ proche et de l'hydrogéologie de la géosphère. On sait mieux exploiter l'observation des milieux naturels pour évaluer la capacité de confinement de la roche hôte, par exemple, en Allemagne, en Suisse et au Canada, et la CE mène actuellement des projets dans le domaine de la paléohydrogéologie, notamment

EQUIP et PAGEPA (CE, 1998f). Pourtant, les incertitudes inhérentes aux modèles de la géosphère sont encore généralement considérées comme importantes, en raison de l'hétérogénéité et de la variabilité caractéristique des roches hôtes, de la difficulté de prévoir l'évolution de l'environnement des roches hôtes sur de longues périodes et du fait que ces modèles sont difficiles à tester sur les échelles spatiales et temporelles pertinentes. En outre, les possibilités de caractériser la roche sans perturber ou détruire ses atouts sont limitées. C'est pourquoi, de nombreuses évaluations des performances récentes ont mis l'accent sur la contribution du champ proche à la sûreté du système, la géosphère étant traitée d'une manière relativement simple et prudente, du moins dans les premières phases du développement.

Le traitement de la barrière constituée par la géosphère a néanmoins beaucoup progressé. On connaît mieux la nature des éléments conducteurs d'eau sur une gamme d'échelles. En outre, on progresse vers une prise en compte plus réaliste de la variabilité naturelle dans les modèles de transport dans la géosphère (par exemple, modélisation plus précise des chemins préférentiels pour l'eau dans les fractures par l'US DOE, par JNC et la Cedra/Nagra) et de l'interface champ proche/géosphère (voir les études récentes de Posiva). Dans une roche fissurée, s'il est pratiquement exclu de négliger la possibilité que quelques chemins préférentiels traversent le dépôt, il est probable qu'une bonne partie de ce dépôt sera faiblement, voire nullement, connectée à ces chemins. On attend des études menées dans les laboratoires de recherche souterrains qu'elles nous permettent de mieux comprendre le comportement de la zone perturbée par l'excavation et, partant, de modéliser de façon plus fiable l'interface champ proche/géosphère.

Dans le cas de la biosphère, les incertitudes étant impossibles à quantifier dans la pratique, la tendance est à utiliser un petit nombre de traitements stylisés, comme nous le verrons dans la section qui suit.

A 4.3 Traitement des incertitudes

Le traitement des incertitudes sur les valeurs des paramètres, etc. est une technique bien établie dans le domaine de la modélisation. Dans l'analyse du comportement à long terme des dépôts, le problème le plus insoluble est depuis toujours le traitement des incertitudes des modèles conceptuels de l'évolution future du système. Ces dernières années, les chercheurs sont parvenus à traiter de manière plus systématique et plus transparente les caractéristiques, événements et processus (CEP) susceptibles de déterminer l'évolution future et ont appris à manier les incertitudes dans la description du comportement initial du système. Il s'agit notamment de procéder à une exploration complète de l'évolution potentielle de l'environnement en question, suivie, ou accompagnée, de l'identification des CEP, déduits pour partie de ces futurs environnements. Dans le cadre du recensement et de l'évaluation des CEP, il faut vérifier que tous les CEP spécifiques au site sont pris en compte – on peut contrôler les listes de CEP propres au projet par comparaison avec la base de données internationale des CEP (AEN, 1999) – retracer les décisions prises concernant le traitement et/ou intégrer les CEP dans les modèles d'évaluation (AEN, 1997). Cette opération suppose par conséquent que l'on examine un large éventail de scénarios d'évolution, que l'on évalue les incertitudes dans les modèles conceptuels en appliquant différents modèles au même phénomène, et que l'on procède à une analyse de sensibilité de l'incertitude sur les paramètres.

Certaines incertitudes identifiables sont impossibles à quantifier et à réduire dans la pratique. Il s'agit, par exemple, des incertitudes concernant :

- les possibilités d'intrusion humaine accidentelle (bien que l'on puisse en réduire la probabilité en choisissant judicieusement la roche hôte et le site dans cette roche) ;
- l'évolution de l'environnement en surface, ou biosphère ;

- l'hypothèse « de l'homme standard » adoptée pour la formulation de la relation dose-effet.

Néanmoins, comme l'indique le document de l'AEN de 1997, ces questions doivent être traitées dans des évaluations de performances.

Plutôt que de tenter de modéliser en détail ces aspects du système ou d'en estimer avec précision la probabilité, les responsables de l'évaluation des performances reconnaissent plutôt que les incertitudes rendent cette opération impraticable et traitent la partie correspondante du système de dépôt de manière simplifiée. L'évaluateur formule une série d'hypothèses, en s'appuyant par exemple sur des instructions réglementaires, l'avis des experts et, lorsqu'il existe, le consensus international. On peut citer :

- la définition d'un jeu de scénarios stylisés d'intrusion humaine ;
- des biosphères stylisées (par exemple, BIOMOVS II Reference Biosphere Methodology, van Dorp *et al.* 1999).

S'il n'est pas en mesure de décider seul de l'acceptabilité des simplifications, le responsable du projet peut néanmoins faire des suggestions quant à la manière de traiter ces situations. S'il est nécessaire de calculer des valeurs pour les comparer à des critères réglementaires, c'est au responsable de la réglementation et à d'autres décideurs pertinents qu'il revient de juger de la valeur de la simplification, et, dans certains cas, de donner leur avis sur les approches jugées acceptables. Dans la mesure où la documentation signale clairement l'utilisation de ces hypothèses et fait valoir que, vu les incertitudes irréductibles, les résultats des évaluations doivent être considérés comme des indicateurs du comportement du système, reposant sur ces hypothèses, plutôt que comme des prévisions de conséquences réelles, la confiance que l'on peut accorder à l'évaluation ne sera pas nécessairement entamée. La NRC a récemment adopté cette démarche lorsqu'elle a rédigé un projet de réglementation relatif à une norme de sûreté pour le site de Yucca Mountain (USNRC).

A 4.4 Présentation des résultats des évaluations

Bien que le contenu exact d'un rapport d'évaluation des performances dépende de contraintes pratiques, spécifiques au programme considéré, il existe un consensus quant aux principaux éléments à faire figurer dans ce type de rapport. Assurément, la standardisation de la présentation de ces résultats peut présenter des avantages, que les évaluations soient effectuées par une même organisation ou par différentes organisations. L'analyse de la conformité à la réglementation, par exemple, est normalement rédigée de façon à faciliter l'examen approfondi à la charge du responsable de la réglementation.

À partir d'une revue des évaluations de performances récemment réalisées, l'AEN a publié en 1997 une liste de dix-huit points (ou sujets) à intégrer. Elle a formulé également des suggestions concernant les qualités d'un rapport, telles que :

- la traçabilité : un enregistrement clair et complet des décisions et des hypothèses adoptées, des données et modèles utilisés, pour parvenir à un ensemble donné de résultats ;
- la transparence : l'établissement d'un rapport clair sur l'évaluation des performances, en veillant à ce que le lecteur puisse comprendre correctement ce qui a été fait, les résultats obtenus et pourquoi les résultats sont ce qu'ils sont.

La NRC met actuellement au point des critères d'acceptation en matière de transparence et de traçabilité et précise les caractéristiques spécifiques du contenu technique qui serviront à juger les demandes d'autorisation déposées auprès de l'US DOE. En Suède, SKI a développé le concept d'organigramme d'évaluation (Assessment Model Flowchart – SKI, 1996), un outil garantissant la traçabilité des traitements et transferts d'informations lors d'une évaluation des performances.

La présentation des résultats a posé aux organisations concernées par les évaluations des performances et analyses de la sûreté un certain nombre de problèmes liés, par exemple, aux échelles de temps sur lesquelles faire porter l'évaluation. La présentation devient particulièrement difficile si l'on utilise des méthodes d'évaluation probabilistes, dans la mesure où il faut parvenir à faire ressortir les principales conclusions de la multitude de résultats obtenus.

On retiendra les avancées suivantes :

- Représentation graphique des résultats de l'évaluation ; une tendance nouvelle consiste à utiliser des méthodes de présentation qui mettent en évidence les performances des composants du système et les performances globales, ainsi que des méthodes illustrant la position des radionucléides dans le système en fonction du temps (par exemple, les études de l'EACL, de la Cedra/Nagra et de l'US DOE).
- L'utilisation de modèles simplifiés, qui reproduisent et expliquent le comportement des radionucléides importants en fonction de principes physiques et chimiques simples (qui inspirent par la même confiance dans la justesse de modèles plus complexes et constituent des outils intéressants de présentation et de communication).
- La rédaction de rapports spécifiques adaptés à différents publics, y compris des synthèses destinées aux gestionnaires de programmes et aux communautés locales, aux groupes chargés des études d'impact sur l'environnement et au public intéressé.
- La prise en compte de connaissances qualitatives dans le dossier de sûreté.
- La mise en perspective des résultats de l'évaluation avec les risques associés à d'autres activités humaines.
- La prise de conscience de la nécessité de justifier la confiance que l'on a dans les résultats de l'évaluation de performances (AEN, 1999b).
- La prise de conscience de la nécessité de joindre, aux résultats et aux conclusions de l'évaluation de performances, des avertissements appropriés quant à sa portée technique limitée et à l'incidence potentielle de cette limite sur l'analyse.

En dépit de ces progrès spécifiques, cependant, plusieurs organisations admettent que la présentation des résultats doit encore être perfectionnée, notamment pour l'adapter à la diversité des publics.

A 4.5 Exploitation des résultats lors du choix du site, de sa caractérisation et de la conception du dépôt

Les évaluations des performances se donnent rarement pour objectif spécifique d'aider à la sélection du site (excepté l'étude GSF-91 (Buhman *et al.*, 1991) et les évaluations de la Cedra/Nagra pour des dépôts de déchets de faible et moyenne activité). En revanche, plusieurs organisations utilisent l'évaluation des performances pour optimiser le programme de caractérisation des sites et d'études en laboratoires et pour évaluer et améliorer la disposition du dépôt. La nécessité d'une

communication efficace entre les auteurs de l'évaluation des performances et les responsables de la caractérisation du site est largement admise. Désormais, dans la plupart des programmes, la recherche d'une étroite interaction entre les géologues, les hydrogéologues, les concepteurs et les spécialistes de la modélisation des performances est un objectif déclaré. Cette interaction permet d'axer la caractérisation du site sur les aspects importants pour la sûreté et d'éviter de choisir des sites et conceptions (et de développer des modèles) pour lesquels il serait probablement impossible d'obtenir les données nécessaires à la démonstration de la sûreté du système. L'AEN (1997) a observé que, dans de nombreuses organisations, les spécialistes de l'évaluation des performances participent aussi aux analyses de la conception technique du dépôt, bien que cette dernière ne soit pas, en général, jugé aussi important que les évaluations du site dans les analyses des performances. À mesure que la phase d'autorisation se rapproche, cependant, une démonstration rigoureuse de la fonction du système ouvrages s'impose.

Annexe 5

RÉFÉRENCES DES ANNEXES 2-4

- AEN (1991), *Évacuation des déchets radioactifs : peut-on évaluer la sûreté à long terme ? Opinion collective du Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire et du Comité consultatif international sur la gestion des déchets radioactifs de l'Agence internationale de l'énergie atomique, entérinée par les experts chargés du Plan d'action de la Communauté dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs de la Commission des Communautés européennes*, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.
- AEN (1993), *Les coûts de l'évacuation des déchets hautement radioactifs dans des formations géologiques : Analyse des facteurs influant sur les estimations des coûts*. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.
- AEN (1997), *Lessons learnt from ten performance assessment studies*, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.
- AEN (1997a), *Field Tracer Experiments: Role in the Prediction of Radionuclide Migration*, Synthèse et compte rendu d'une réunion organisée à Cologne, Allemagne, 28-30 août 1996, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.
- AEN (1998), *Modelling the Effects of Spatial Variability on Radionuclide Migration*, Synthèse et compte rendu d'une réunion organisée à Paris, France, 9-11 juin 1997, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.
- AEN (1999), *An International Database of Features, Events and Processes*, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris, sous presse.
- AEN (1999a), *Dépôts de déchets radioactifs de faible activité : Une analyse des coûts*, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.
- AEN (1999b), *Confidence in the Evaluation of Safety of Deep Geological Repositories*, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.
- AEN (1999c), *Water-Conducting Features Radionuclide Migration*, Synthèse et compte rendu d'une réunion organisée à Barcelone, Espagne, 10-12 juin 1998, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.
- AIEA (1997), *Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs (conclue le 5 septembre 1997 et ouverte à la signature au siège de l'AIEA)*.

- AIEA (1998), *Technical, institutional and economic factors important for developing a multinational radioactive waste repository*, TECDOC-1021 (1998).
- Andrews, R.W., Dale, T.F., and McNeish, J.A. (1994), *Total System Performance Assessment – 1993: An Evaluation of the Potential Yucca Mountain Repository*. B00000000-01717-2200-00099 Rev. 01. Las Vegas, Nevada: CRWMS (Civilian Radioactive Waste Management System) M&O (Management and Operating Contractor).
- ARAP (1992), *Alligator Rivers Analogue Project, Final Report Volume 1, Summary of Findings*. Projet international OCDE/AEN géré par l'Australian Nuclear Science and Technology Organisation. ISBN 0-642-59927-0, voir aussi DOE/HMIP/RR/92/071 et SKI TR 92:20-1.
- ASARR (1996), *Analogue Studies in the Alligator Rivers Region, Six Monthly Reports*, 1 January to 30 June 1996 and 1 July to 31 December 1996. Disponibles auprès du responsable du projet ou auprès du Secrétariat de l'AEN.
- Buhmann *et al.* (1991), *Analysis of the long-term safety of disposal concepts with heat producing radioactive wastes*, GSF, Braunschweig, Bericht 27/9, 1991 (en allemand).
- Cadelli, N. *et al.* (1996), *Evaluation of elements responsible for the effective engaged dose rates associated with the final storage of radioactive waste: EVEREST project: Summary report*. EUR 17122.
- CAN (1998), *Nuclear Fuel Waste Management and Disposal Concept, Report of the Nuclear Fuel Waste Management and Disposal Concept Environmental Assessment Panel*, February 1998. Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada, EN-106-30/1-1998E.
- CE (1995), *Radionuclide transport through the geosphere and biosphere, Review study of the project MIRAGE*, EUR 16489.
- CE (1995a), *Testing and modelling of thermal, mechanical and hydrogeological properties of host rocks for deep geological disposal of radioactive waste*, Actes d'une réunion, Bruxelles, 12-13 janvier 1995, EUR 16219.
- CE (1996), *Sixth EC natural analogue working group meeting*, Actes d'une réunion internationale tenue à Santa Fe, Nouveau Mexique, États-Unis, 12-16 septembre 1994, EUR 16761.
- CE (1997a), *Seventh EC natural analogue working group meeting*, Actes d'une réunion internationale tenue à Stein am Rhein, Suisse, 28-30 octobre 1996, EUR 17851.
- CE (1997b), *Projects on the effects of gas in underground storage facilities for radioactive waste, (Pegasus project)*. EUR 18167 and EUR 16746, 16001, 15734, and 14816.
- CE (1997c), *El Berrocal project, Characterization and validation of natural radionuclide migration processes under real conditions on the fissured granitic environment: Final report*, EUR 17478.
- CE (1998), *OKLO working group, Proceedings of the first joint EC-CEA workshop on the OKLO-natural analogue Phase II project*. Sitges, Espagne, 18-20 juin 1997. EUR 18314.

- CE (1998a), *Nuclear fission safety – Progress report 1997. Vol. 2: Radioactive waste management and disposal and decommissioning*. EUR 18322/2.
- CE (1998b), *In situ testing in underground research laboratories for radioactive waste disposal. Proceedings of a cluster seminar held in Alden Biesen (B), 10-11 décembre 1997*. EUR 18323.
- CE (1998c), *The Praclay project : Demonstration test on the Belgian disposal facility concept for high activity vitrified waste : Final report*. EUR 18047.
- CE (1998d), “RESEAL: A large scale *in situ* demonstration for REpository SEALing in an argillaceous host rock”. In *In situ testing in underground research laboratories for radioactive waste disposal, Proceedings of a cluster seminar held in Alden Biesen (B), 10-11 décembre 1997*. EUR 18323.
- CE (1998e), *FEBEX Project: a Full scale Engineered Barriers EXperiment in crystalline rock, in In situ testing in underground research laboratories for radioactive waste disposal, Proceedings of a cluster seminar held in Alden Biesen (B), 10-11 décembre 1997*. EUR 18323.
- CE (1998f), *Nuclear fission safety – Progress report 1997, Volume 2:Radioactive waste management and disposal and decommissioning*. EUR 18322/2. (Rapport 1998 à paraître dans la série EUR).
- CIPR (1986), *Publication 46: Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste*, Annals of the ICRP Vol 15/4.
- CIPR (1993), *Publication 64: Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework. A Report of a Task Group of Committee 4 of the International Commission on Radiological Protection*. Annals of the ICRP Vol. 23/1.
- CIPR (1998), *Publication 77: Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste*. Annals of the ICRP Vol. 27 Supplement.
- CIPR, *Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-Lived, Solid Radioactive Waste*. (en préparation)
- CNE (1998), *Réflexions sur la réversibilité des stockages, Commission nationale d'évaluation*, juin 1998. (avec note de synthèse en anglais intitulée Thoughts on Retrievability)
- Codell, R. B. *et al.* (1992), *Initial demonstration of the NRC's capability to conduct a performance assessment for a high-level waste repository*, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1327.
- Conseil de l'Europe : Assemblée parlementaire du Conseil de l'Europe, Résolution 1157 (1998) Gestion des déchets radioactifs
- Cramer, J.J. and Smellie, J.A.T. (1994), *Final report of the AECL/SKB Cigar Lake analog study*, Énergie atomique du Canada limitée, AECL-10851, COG-93-147, SKB TR 94-04.
- CRWMS (Civilian Radioactive Waste Management System) M&O (Management and Operating Contractor) (1995), *Total System Performance Assessment – 1995: An Evaluation of the*

Potential Yucca Mountain Repositor., B00000000-01717-2200-00136 REV 01. Las Vegas, Nevada: CRWMS M&O.

- CUM (1997), Planning Inspector's report, Cumbria County Council Appeal by United Kingdom Nirex Limited, C. S. McDonald, File No. APP/H0900/A/94/247019, Mars 1997.
- van Dorp, F., Egan, M., Kessler, J. H., Nilsson, S., Pinedo, P., Smith, G., Torres, C. (1999), « Biosphere modelling for the assessment of radioactive waste repositories; the development of a common basis by the BIOMOVs II reference biospheres working group ». In *Journal of Environmental Radioactivity*, 42, 225-236.
- ENRESA (1997), *ENRESA-97 – Performance assessment of a spent fuel repository in granite*. Publication technique Enresa 06/97 (en espagnol).
- ENRESA (1998), *ENRESA-98 – Performance assessment of a spent fuel repository in clay*. Publication technique Enresa (en préparation).
- GER (1998), Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie and den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz), Vom 23. Dezember 1959 (BGB1. IS. 814) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGB1. IS. 1565) (BGB1. III 751-1) zuletzt geändert durch Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes und des Gesetzes über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz vom 6. April 1998 (BGB1. IS. 694).
- Glassley, W. (1994), « Validation of hydrogeochemical codes using the New Zealand geothermal system ». In *Proceedings of the Fifth CEC Natural Analogue Working Group (NAWG) meeting and Alligator Rivers Analogue Project (ARAP) Final Workshop*, 5-9 October 1992, Toledo, Spain. EC-NAWG H.von Maravic and J. Smellie (Editors), 1994, EUR 15176 EN, Luxembourg .
- Goodwin *et al.* (1994), *The disposal of Canada's nuclear fuel waste: Postclosure assessment of a reference system*, AECL-10717, COG-93-7.
- Goodwin *et al.* (1996), *The disposal of Canada's nuclear fuel waste: A study of the postclosure assessment of in-room emplacement of used CANDU fuel in copper containers in permeable plutonic rock, Volume 5: Radiological assessment*, AECL-11494-5, COG-95-552-5.
- Griffault, L. *et al* (1996), *Acquisition et régulation de la chimie des eaux en milieu argileux pour le projet de stockage de déchets radioactifs en formation géologique : Projet « Archimède argile » : rapport final*, EUR 17454.
- JNC (1999), *The Second Progress Report: H12 Project for Assessment of Feasibility of HLW Disposal au Japon*. (en préparation)
- Kickmaier, W. & McKinley, I. (1997), « A review of research carried out in European rock laboratories », In *Nuclear Engineering and Design* 176 , pp 75-81.
- Konopaskova S., Pergl L. (1997), *Description de la modélisation d'un système de dépôt de référence. Ustav jaderneho vyzkumu (Institut de recherche nucléaire), REZ, République tchèque, BAZ 97-02, 90 pages* (en tchèque).

- Kowalski, E., and Fritschi, M.(1996), «Swiss underground L/ILW repository Wellenberg after the negative vote of the canton », *IAEA Symposium on experience in the Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities*, Vienne, 17-21 juin 1996. IAEA-SM-341/53.
- Manteufel, R.D. & Baca, R.G. (1995), *Iterative Performance Assessment Phase 3: status of activities*, San Antonio, Texas, Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses. CNWRA 95-007 (rédigé pour l'U.S. Nuclear Regulatory Commission).
- Marivoet, J. and Zeevaert, Th. (1990), *PACOMA – Performance assessment of the geological disposal of medium-level and alpha waste in a clay formation in Belgium*, EUR 13042 EN.
- Marivoet, J (1991), *UPDATING 1990 – Updating of the performance assessments of the geological disposal of high-level waste in the Boom Clay*, Rapport CEN – ONDRAF/NIRAS BLG 634.
- Marivoet, J., Volckaert, G., Snyers, A. & Wibin, J (1996), *First Performance Assessment of the Disposal of Spent Fuel in a Clay Layer*, EUR 16752 EN.
- Marivoet, J. et al.(1997), *Evaluation of elements responsible for the effective engaged dose rates associated with the final storage of radioactive waste: EVEREST project*, EUR 17449.
- Miller, W., Alexander, R., Chapman, N., McKinley, I., Smellie, J.(1994), « Natural analogue studies in the geological disposal of radioactive wastes », In *Studies in Environmental Science 57*, Elsevier (Amsterdam, London, New York, Tokyo),1994 – également publié dans le Rapport technique de la Nagra 93-03, Nagra, Wettingen, Suisse, 1994.
- Murphy, W.M., Percy, E.C. and Pickett, D.A., (1997). « Natural analogue studies at Pena Blanca and Santorini », In: *Proceedings of the Seventh EC Natural Analogue Working Group (NAWG) Meeting*, 28-30 octobre 1996, Stein am Rhein, Switzerland, EC-NAWG H. von Maravic and J. Smellie (Editors), EUR 17851 EN, Luxembourg.
- Nagra (1993), *Beurteilung der Langzeitsicherheit des Endlagers SMA an Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW)*, Rapports techniques de la Nagra NTB 93-26, Nagra, Wettingen, Suisse.
- Nagra (1994), *Kristallin-I safety assessment report*, Rapports techniques de la Nagra NTB 93-22, Nagra, Wettingen, Suisse.
- Nagra (1994a), *Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg*. Rapports techniques de la Nagra NTB 94-06, Nagra, Wettingen, Suisse.
- Neyama *et al.* (1998), « Quality assurance program with computer-oriented management system for performance assessment », In *High-level Radioactive Waste Management, Proceedings of the Eighth International Conference, Las Vegas, Nevada, mai 11-14, 1998*, American Nuclear Society, Inc., La Grange Park, Illinois 60526 États-Unis.
- Nirex (1995a), *Nirex 95 – A preliminary analysis of the Groundwater Pathway for a Deep Repository at Sellafield*, Nirex Science Report S/95/012.
- Nirex (1995b), *The Development and Application of RARECAN*, F.M. Porter and A.V. Chambers, Nirex Safety Series Report NSS/R396.

- Nirex (1996), *HARPHRO: A Computer program for Geochemical Modelling*, A. Haworth, T.G. Heath and C.J. Tweed, Nirex Report NSS/R380.
- Nirex (1997), *Nirex 97 – An assessment of the post-closure performance of a Deep Waste repository at Sellafield*, Nirex Science Report S/97/012.
- PNC (1993), *First Progress Report on Research and Development on Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste*, PNC TN1410 93-059.
- Prij, J. *et al.* (1993), *PROSA – Probabilistic Safety Assessment, Final Report*, ECN, RIVM, RGD, Petten.
- SKB (1992), *Final Disposal of Spent Nuclear Fuel, Importance of the Bedrock for Safety*, SKB Technical Report 92-20, Svensk kärnbränslehantering AB.
- SKB (1997), *Assessment of a spent fuel disposal canister, Assessment studies for a copper canister with a cast steel inner component*, A.E. Bond, A.R Hoch, G.D. Jones, A.J. Tomaczyk, R.M. Wiggin, W.J. Worraker; AEA Technology, Harwell, UK; SKB TR 97-19.
- SKB (1998), *Parameters of importance to determine during geoscientific site investigations*, J. Andersson, K-E. Alméen, L.O. Ericsson, A. Fredriksson, F. Karlsson, R. Stanfors, A. Ström; SKB TR 98-02.
- SKB (1998a), *Geoscientific evaluation factors and criteria for siting and site evaluation*. A Ström, J. Andersson, K-E. Elméen, C. Svemar, L.O. Ericsson; SKB-R-9907.
- SKB (1998b), *Maqarin Natural Analogue Study: Phase III, vol. I and II*. Smellie, J.A.T., Conterra AB (ed.); SKB TR 98-04.
- SKI (1991), *SKI Project-90*. SKI Technical report 91:23, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm.
- SKI (1996), *SKI SITE-94 Deep Repository Performance Assessment Project*, SKI Report 96:36, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm.
- Smellie, J.A.T., Karlsson, F. and Alexander, R., (1997), « Natural analogue studies: present status and performance assessment implications », In *Journal of Contaminant Hydrology* 26 (1997) 3-17.
- SNL (1995), *Draft 40 CFR 191 Compliance Certification Application (DCCA) for the Waste Isolation Plant*, SNL, 1995.
- US Department of Energy (DOE) (1997), *Linking Lagacies; Connecting he Cold War Nuclear Weapons Production Processes to their Environmental Consequences*, DOE/EM-0319, 1997.
- US Department of Energy (DOE) (1998), *Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain, Total System Performance Assessment*, DOE/RW-0508 Volume 3, North Las Vegas, Nevada: DOE Office of Civilian Radioactive Waste Management, Yucca Mountain Site Characterization Office.
- USNRC (1998), *Draft proposed U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulations for the disposal of high-level radioactive wastes in the proposed geologic repository at Yucca Mountain, Nevada, USA*. U. S. NRC, Projet de CFR PART 63, 1998.

- Vieno, T., Hautojärvi, A., Koskinen, L., Nordman, H. (1992), *TVO-92 Safety Analysis of Spent Fuel Disposal*, Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Report YJT-92-33E.
- Vieno, T., Nordman, H. (1996), *Interim report on safety assessment of spent fuel disposal TILA-96*, Helsinki: Posiva, 1996. 176 s. (POSIVA 96-17). ISBN 951-652-016-2.
- Wescott, R.G. et al. eds. (1995), *NRC Iterative Performance Assessment Phase 2: Development of capabilities for review of a performance assessment for a high-level waste repository*, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1464.
- Wilson, M.L., Gauthier, J.H., Barnard, R.W., Barr, G.E., Dockery, H.A., Dunn, E., Eaton, R.R., Guerin, D.C., Lu, N., Martinez, M.J., Nilson, R., Rautman, C.A., Robey, T.H., Ross, B., Ryder, E.E., Schenker, A.R., Shannon, S.A., Skinner, L.H., Halsey, W.G., Gansemer, J.D., Lewis, L.C., Lamont, A.D., Triay, I.R., Meijer, A., and Morris, D.E. (1994), *Total System Performance Assessment for Yucca Mountain-SNL Second Iteration (TSPA-1993)*. SAND93-2675. Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories.
- Wolfsberg, A.V. et al. (1999), « Use of Chlorine-36 and other Geochemical Data to Test a Groundwater Flow Model for Yucca Mountain, Nevada ». In *Use of Hydrogeochemical Information in Testing Groundwater Flow Models*, Résumé technique et compte rendu d'une réunion tenue à Borgholm, Suède, 1-3 septembre 1997. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris.

Annexe 6

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES RÉPONSES : COMMUNICATION ET PERCEPTION

Pour juger de l'importance de la communication et de ses effets sur l'appréciation subjective de l'état de l'évacuation géologique, nous avons prévu dans notre enquête des questions concernant :

- les modes de communication avec le public des responsables des projets d'évacuation ou de la réglementation ;
- les changements d'attitude perceptibles que les efforts de communication auraient pu entraîner ;
- les événements ou évolutions qui ont eu le plus marqué les attitudes.

La partie finale du questionnaire permettait de recueillir l'opinion subjective des personnes interrogées elles-mêmes. Il leur était demandé, en effet, de classer par ordre d'importance les facteurs qui avaient, en général, marqué l'évolution des programmes d'évacuation, à savoir :

- les événements les plus positifs survenus au cours de la dernière décennie ;
- les événements les plus négatifs survenus sur la même période ;
- les évolutions futures les plus susceptibles de faire progresser les projets d'évacuation géologique.

On trouvera résumés dans cette annexe les résultats de ce sondage dans le domaine de la communication et de la perception du public.

A 6.1 Communication

Participation du public au processus décisionnel

Il y a lieu de se demander au départ en quoi consiste la participation du public. Les parties concernées peuvent intervenir dans les programmes d'évacuation à différents niveaux, et les approches varient selon les pays. Le public est associé au maximum lorsqu'il participe directement aux processus de décision conduisant à l'acceptation d'une proposition spécifique ou à l'octroi d'une autorisation par les autorités. Seul le droit suisse mentionne la possibilité pour les adversaires d'un projet de provoquer un référendum sur la question, mais des référendums ont également été organisés à titre purement consultatif dans des pays comme la Suède.

Il existe dans de nombreux pays des mécanismes officiels par lesquels le public peut intervenir dans les décisions relatives à l'évacuation des déchets. La représentation directe du public lors des enquêtes publiques est assez rare, mais la consultation sous forme écrite est une méthode

couramment employée. L'obligation d'organiser une consultation officielle du public est souvent associée à une loi sur la protection de l'environnement d'application générale, ou à des textes analogues. C'est le cas, par exemple, de la Hongrie, des États-Unis, du Canada ou d'autres pays qui appliquent les directives de la CE imposant la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement pour les installations dont la construction ou l'exploitation pourrait avoir des effets importants dans ce domaine. L'étude d'impact sur l'environnement doit être réalisée par l'exploitant ou par l'initiateur de la proposition puis soumise au public pour information et commentaires.

Plusieurs pays ne prévoient pas spécifiquement de participation du public aux projets d'évacuation des déchets. Cependant, dans la plupart des États, les gouvernements, les responsables de la réglementation et les initiateurs de projets sollicitent activement l'opinion du public, d'une manière moins officielle, afin que :

- les auteurs de projets puissent adapter leur projet en fonction des opinions du public ;
- l'autorité responsable de la réglementation prenne en compte les commentaires du grand public, avant de proposer des recommandations ayant une valeur réglementaire ;
- les autorités gouvernementales tâtent le pouls du public avant de prendre des décisions définitives telles que la délivrance d'autorisations.

Les réponses au questionnaire indiquent clairement que le public aujourd'hui dispose de multiples moyens de participer aux processus de planification et d'aménagement des dépôts de déchets. Même si les initiateurs des propositions ou les responsables de la réglementation ne sont pas tenus de consulter le public, la tendance actuelle, dans ce domaine controversé, est à la recherche du dialogue. On trouvera à la section suivante des exemples des efforts consentis par toutes les parties pour promouvoir un débat éclairé.

Communication avec les parties prenantes

La plupart des organisations considèrent qu'il est de leur devoir d'être à l'écoute :

- du grand public ;
- des décideurs politiques ;
- des populations locales concernées et de leurs représentants ;
- des publics scientifiques et techniques plus larges.

Pour ce faire, les organisations utilisent une grande variété de moyens (tableau A 6.1).

Parmi les organisations ayant répondu au questionnaire, seule la CE mentionne la création d'un site Internet, bien que beaucoup d'organisations disposent d'une page d'accueil offrant au public la possibilité de répondre. Il est clair que le rôle de l'Internet comme moyen rapide de toucher différents publics en temps réel, sera amené à se développer. Ceci représente une évolution dont les organismes de gestion des déchets doivent être conscients.

De toute évidence, les responsables de la réglementation et de la mise en œuvre des projets perçoivent différemment leur rôle de sources d'informations. Il existe des autorités et des responsables de la réglementation (par exemple, au Canada) qui sont extrêmement soucieux de ne pas passer pour des avocats du nucléaire et préfèrent avoir les décideurs comme interlocuteurs. D'autres responsables de la réglementation, comme SKI en Suède ou l'EPA aux États-Unis, tout en se gardant de tenir un discours pro-nucléaire, ont pris les devants, dispensent une information objective et encouragent le

dialogue, et soulignent en particulier l'importance d'une fonction réglementaire indépendante pour la préservation de la sécurité du public.

Tableau A 6.1 : **Moyens utilisés par les organismes de gestion des déchets pour atteindre différents publics**

Public	Moyens mis en œuvre
Grand public	Publications périodiques, brochures, vidéos, expositions, centres de visiteurs, visites de site, sites Web sur l'Internet avec possibilité de poser des questions par courrier électronique, participation à des débats publics, opérations portes ouvertes, ...
Population locale	Tous les moyens mentionnés ci-dessus, commissions mixtes réunissant des représentants des communautés locales et des organismes de gestion des déchets, interventions dans les écoles, contacts personnels, ...
Décideurs politiques	Consultations par écrit, participations à des commissions consultatives.
Communauté scientifique au sens large	Rapports de R-D annuels, publications dans des revues scientifiques et communications lors de conférences, conférences dans les universités, groupes d'expertise

L'existence d'un service de communication au sein des organisations ayant répondu au questionnaire témoigne de l'importance que ces dernières attachent à ce problème. Dans la plupart des organisations, ces services ne sont pas exclusivement constitués de spécialistes des relations publiques. On considère généralement que l'activité de communication doit bénéficier de l'appui de spécialistes employés dans d'autres secteurs de l'organisation. Dans quelques cas rares, au contraire, la communication est entièrement confiée à du personnel technique. En général, on s'accorde à reconnaître qu'il faut réunir du personnel technique et non technique pour pouvoir fournir une communication efficace et adaptée, par sa nature et son niveau de détail, à chaque public.

Principales informations à communiquer

Les réponses fournies à la question relative aux informations clés à communiquer méritent qu'on s'y arrête. Le tableau A 6.2 illustre la diversité des messages que l'on juge utile de transmettre aux différents publics. Cependant, les messages clés qui reviennent le plus fréquemment sont les suivants :

- L'évacuation géologique, lorsqu'elle est effectuée correctement, est une opération sûre, qui ne comporte que de très faibles risques – mais ce message est difficile à communiquer de manière convaincante à un large public.
- Évacuer les déchets correspond à une nécessité pratique. Les déchets nucléaires sont une réalité, et ils doivent être éliminés, indépendamment de l'avenir qui sera réservé au

nucléaire. La relation évidente qui existe entre l'évacuation et le devenir du nucléaire continue cependant d'alimenter l'opposition de groupes spécifiques.

- C'est à la génération actuelle de trouver une solution à l'évacuation des déchets nucléaires. L'entreposage et la transmutation ne sont pas considérés par les spécialistes des déchets comme des solutions de remplacement. L'entreposage permettra de retarder l'évacuation et la transmutation de modifier l'inventaire à évacuer.

On notera que, si la plupart des organisations mentionnent la nécessité de transmettre les informations relatives au faible risque associé à l'évacuation, aucune ne paraît envisager de sensibiliser le public aux autres risques que prend, ou est disposé à prendre, la société. Cette attitude pourrait traduire le fait que le public accorde peu de poids à la comparaison de risques d'origines très différentes et, par contre, exige des garanties plus directes dans des cas spécifiques.

Tableau A 6.2 : **Principaux messages**

- Sûreté technique de l'évacuation ; faible niveau de risque
- Nécessité d'évacuer
- Justification environnementale et éthique de l'évacuation
- Consensus international sur l'évacuation géologique
- Bien-fondé et objectivité d'un processus de développement graduel
- Importance de l'indépendance des responsables de la réglementation
- Qualité et éthique des réglementations relatives à la mise en œuvre des projets d'évacuation
- Avantages locaux pour les communes accueillant le dépôt
- Irréversibilité de principe de l'évacuation.

Les principaux messages que tentent de faire passer l'ensemble des organisations restant très élémentaires, la question qui vient directement à l'esprit est : Quelle a été l'efficacité des campagnes d'information antérieures ? Pour quelle raison toutes ces organisations continuent-elles de faire passer les mêmes informations ? Ces messages ont-ils été présentés, dans le passé, d'une manière inefficace ?

A 6.2 Perceptions

Changements d'attitude observés au cours de la dernière décennie

Les auteurs du questionnaire se sont efforcés de collecter des informations sur l'évolution de l'opinion publique au cours des dix dernières années et sur l'efficacité des efforts de communication destinés à l'infléchir vis-à-vis de l'influence d'événements externes. Concernant l'évolution globale des attitudes observée au cours de la dernière décennie, plusieurs sondés ont indiqué que, si l'image du nucléaire a un peu progressé dans l'opinion publique, on ne peut pas en dire autant de l'évacuation des déchets à vie longue. On a assisté à une prise de conscience du problème de l'évacuation finale et à des mouvements en faveur d'une participation accrue du public au processus d'implantation. D'où un ralentissement du processus, d'autant que les groupes opposés à l'évacuation des déchets se sont mieux organisés et sont capables désormais de toucher des publics comme les populations locales et les

médias. L'argumentation de ces groupes s'est également affinée. Pour les responsables de la mise en œuvre des projets et, le cas échéant, les responsables de la réglementation, cela signifie une plus forte incitation à organiser une communication précoce et ouverte s'ils veulent que leurs messages passent.

À première vue, il ne semble pas que les avancées techniques évoquées dans les chapitres précédents aient entraîné des progrès notables vers la mise en œuvre de l'évacuation géologique, par rapport à la situation il y a dix ans. La Finlande, où l'étude d'impact sur l'environnement et l'installation de deux dépôts de déchets de faible activité auraient eu une incidence positive, constitue une exception. Une analyse plus différenciée fait apparaître que certains programmes ont avancé au cours de la décennie considérée : construction d'installations (SFR en Suède, par exemple), lancement de travaux de reconnaissance géologique sur des sites particuliers (Belgique, Royaume-Uni, États-Unis, Suisse) ou étape importante de la procédure d'autorisation (installation WIPP aux États-Unis). Toutefois, les organismes de gestion des déchets ont nettement le sentiment que les difficultés rencontrées récemment ont en général atténué, voire annulé, les progrès antérieurs.

Les événements qui surviennent dans les installations nucléaires en général, et plus encore, ceux qui concernent les programmes d'évacuation nationaux ont assurément un impact notable sur les attitudes. Tchernobyl est la raison la plus souvent invoquée pour justifier la forte méfiance manifestée, non seulement à l'égard du nucléaire, mais également de la gestion et de l'évacuation des déchets. Au niveau national, des incidents sans lien direct avec l'évacuation définitive peuvent aussi avoir un effet négatif sur les attitudes, comme les accidents de Monju et de Tokai-Mura, au Japon, et la révélation de la contamination des châteaux de transport en Europe. Les échecs spécifiques de certains programmes d'évacuation renforcent encore l'appréhension du public : le rejet de la demande de planification du RCF au Royaume-Uni, le non au référendum en Suisse au sujet du site du Wellenberg, le résultat négatif des référendums dans les deux communes présélectionnées en Suède, l'abandon du programme d'implantation de site espagnol et la recommandation de la commission d'experts canadiens de ne pas passer immédiatement à la phase d'implantation. Tous ces événements négatifs⁸, d'une part, reflètent le scepticisme du public vis-à-vis de l'évacuation et, d'autre part, attisent à leur tour l'inquiétude du public.

Dans la plupart des cas d'échec enregistrés par les programmes d'évacuation, les difficultés tournaient autour de la question de l'implantation des installations, source de contestations. L'échec de certaines tentatives d'implantation repose plus sur la méfiance de la population locale à l'égard des responsables de la mise en œuvre du projet que sur des déficiences techniques réelles de ce projet. Face à la détermination d'adversaires convaincus, l'adhésion du public ne s'obtiendrait qu'en réunissant un ensemble de conditions : des études techniques d'une solidité démontrable, une communication efficace, des formules d'indemnisation appropriées et des personnalités inspirant confiance. Les revers subis dans certains pays, associés à la possibilité de différer facilement l'évacuation en prolongeant les durées d'entreposage, ont dissuadé d'autres responsables de programmes ne serait-ce que d'aborder la phase d'implantation.

8. Dans ce rapport, le terme « positif » est utilisé pour décrire des situations dans lesquelles les programmes d'évacuation progressent. Les termes « négatif » ou « revers » décrivent les cas où les décisions d'implantation sont revues et où les programmes n'évoluent pas vers la mise en œuvre de l'évacuation comme prévu. Ces termes sont employés de manière informelle par les gestionnaires de déchets, pas toujours par les responsables de la réglementation, et correspondent à un jugement subjectif. Globalement, les pouvoirs publics ou la société peuvent en fait juger que les révisions actuelles des calendriers d'implantation sont des événements « positifs ». Si ces évolutions « négatives » se soldent par la fixation de nouveaux calendriers, par des décisions d'implantation et par la conversion des pouvoirs publics en partisans actifs de l'évacuation géologique, cela voudra dire qu'elles peuvent devenir « positives » lorsque les décisions seront prises et bénéficieront d'un soutien.

Contribution des organismes de gestion des déchets aux changements d'attitude

Les organismes de gestion des déchets espèrent entre autres gagner enfin la confiance du public en démontrant la volonté des responsables des programmes de prendre au sérieux tous ses motifs de préoccupation. Dans de nombreux pays, comme la Suède, le Royaume-Uni, le Canada et la Suisse, les événements ont prouvé que le public peut s'exprimer et qu'il est véritablement écouté dans les débats sur l'installation des dépôts.

Il est essentiel que les responsables de projets réussissent à communiquer leurs messages au public. Pourtant, à une question portant sur l'efficacité des efforts consentis pour informer le public, la plupart des responsables de l'installation de dépôts et de la réglementation ont cependant fourni cette réponse, qui donne la juste mesure des choses, à savoir que leurs efforts d'information et de communication auraient eu une influence positive très modeste sur la sensibilité du public et son attitude vis-à-vis des projets de dépôts.

L'apparente impasse à laquelle a conduit la relative inaptitude des responsables de la gestion des déchets à encourager, parmi le public, un consensus en faveur de la poursuite des projets d'évacuation, justifie pleinement les craintes du RWMC et d'autres. Elle signifie également que les responsables de la gestion des déchets doivent accorder une plus grande attention à ces problèmes, même s'ils ne relèvent pas strictement des domaines classiques de la science et de l'ingénierie.

Progrès vers la mise en œuvre de l'évacuation géologique au cours de la dernière décennie

La dernière série de questions visait spécifiquement à recueillir l'opinion subjective de responsables de la gestion des déchets sur les événements les plus positifs et les plus négatifs pour la mise en œuvre de l'évacuation des déchets. Certains ont centré leurs réponses sur des événements nationaux, alors que d'autres ont cité des événements et des évolutions aux niveaux national et international (tableaux A 6.3 et A 6.4).

Les événements négatifs survenus à l'étranger ont été perçus comme ayant sur les programmes nationaux et internationaux une influence plus forte que les événements positifs. Cette impression traduit peut être le fait que les maîtres d'œuvre des projets sont relativement discrets sur leurs succès et, en tout cas, les communiquent rarement à l'extérieur des frontières du pays et que les efforts de communication des responsables de la réglementation sont nécessairement mesurés. À l'opposé, les efforts des opposants pour être entendus du public sont globalement de plus en plus raffinés et efficaces.

La délivrance d'autorisations pour des installations d'évacuation des déchets, VLJ en Finlande, par exemple, est bien sûr citée comme un événement national, mais aussi, par les étrangers, comme un facteur ayant eu une influence positive. En particulier, plusieurs organisations ont noté que l'autorisation de WIPP avait eu des conséquences positives importantes à l'échelle mondiale. Inversement, les échecs des programmes d'étude, par exemple le rejet du RCF au Royaume-Uni, et les votes contre des aménagements et études, notamment en Suède et en Suisse, ont un impact direct sur les programmes nationaux, mais sont aussi cités comme des facteurs négatifs par certains sondés d'autres pays. Il est possible, cependant, que les évolutions positives ou négatives enregistrées dans un pays aient un effet plus direct sur le moral des gestionnaires de déchets que sur les décideurs ou l'opinion publique d'autres pays. Les articles rendant compte d'événements négatifs survenus dans l'industrie nucléaire à l'étranger font invariablement référence à des installations ou projets locaux similaires, pour faire couleur locale. Le consensus international entre les gouvernements et la communauté technique quant aux avantages de l'évacuation des déchets est considéré comme un élément positif essentiel, notamment les « Opinions collectives » de l'AEN de 1991 et 1995.

Tableau A6.3 : **Évolutions internationales les plus fréquemment citées et exemples d'évolutions nationales ayant eu une influence positive sur les projets d'évacuation en profondeur**

Évolutions et événements positifs survenus dans le cadre des programmes nationaux
<p>Exploitation d'installations nationales de gestion des déchets.</p> <p>Début de la construction d'installations susceptibles d'être utilisées comme dépôts, comme forage des puits de Gorleben, en Allemagne, et construction de galeries d'accès à Yucca Mountain, par exemple.</p> <p>Progrès de la caractérisation des sites et des analyses de sûreté, publication de l'étude d'impact sur l'environnement canadienne, par exemple.</p> <p>Publication d'importantes analyses nationales de sûreté et de faisabilité.</p> <p>Déclarations des pouvoirs publics en faveur de la poursuite des projets d'évacuation géologique ou définissant des stratégies de gestion des déchets.</p> <p>Réforme de la réglementation et/ou publication de recommandations à caractère réglementaire.</p> <p>Campagnes locales et régionales favorisant une communication directe et une participation accrue du public.</p> <p>Conscience de la nécessité d'évacuer en profondeur des déchets autres que les déchets de haute activité provenant des centrales nucléaires.</p>
Évolutions et événements positifs de portée internationale
<p>Progrès vers l'aménagement d'installations de gestion des déchets à l'étranger (l'exemple le plus couramment cité est l'homologation du WIPP).</p> <p>Progrès de la caractérisation des sites et des analyses de sûreté à l'étranger.</p> <p>Perfectionnement des techniques de caractérisation des sites et d'évaluation de la sûreté, permettant des analyses plus solides.</p> <p>Coopération internationale dans le domaine de la R-D, notamment dans le cadre des projets de laboratoires de recherche souterrains.</p> <p>Développement de la collaboration et du consensus au niveau international.</p> <p>Travaux des organisations internationales pour favoriser la collaboration et le consensus (la publication de l'Opinion collective AEN/CCE/AIEA de 1991 et de l'Opinion collective de l'AEN de 1995 est le plus souvent citée).</p> <p>Intensification des efforts pour évaluer l'incidence des stratégies de remplacement (par exemple, la séparation et la transmutation, l'évacuation directe du combustible irradié, l'utilisation de combustible MOX, la possibilité de reprise des déchets) sur les programmes d'évacuation.</p> <p>Sensibilisation à des problèmes d'environnement beaucoup plus graves qui bénéficient d'une attention bien moindre (en particulier, l'effet de serre).</p>

Table A6.4 : **Évolutions internationales les plus fréquemment citées et exemples d'évolutions nationales ayant eu une influence négative sur les projets d'évacuation en profondeur**

Évolutions et événements négatifs survenus dans le cadre des programmes nationaux
<p>Échecs des programmes d'implantation et d'étude nationaux, par exemple, rejet du RCF au Royaume-Uni, référendums organisés en Suisse et en Suède et conclusions de la commission d'évaluation canadienne, préconisant un report et des modifications.</p> <p>Succès de l'opposition menée par des groupes de pression et par la population locale contre les études de caractérisation des sites et les campagnes de forage proposées.</p> <p>Sous-estimation de la puissance de l'opinion publique et de la capacité des groupes d'opposants à la manipuler</p> <p>Manque de détermination des pouvoirs publics ou de cadre juridique national.</p> <p>Intégration des questions de gestion des déchets dans le débat sur le devenir de l'énergie nucléaire.</p> <p>Contraintes budgétaires ayant pour effet de brider les efforts de recherche, de favoriser les options peu coûteuses ou de différer la mise en œuvre des projets d'évacuation (citées en Belgique et aux États-Unis).</p>
Évolutions et événements négatifs de portée internationale
<p>Échecs enregistrés par des programmes d'implantation et d'étude à l'étranger.</p> <p>Succès de l'opposition menée par des groupes de pression et par la population locale contre les études de caractérisation des sites et les campagnes de forage proposées.</p> <p>Absence de sentiment d'urgence quant à la nécessité de construire des dépôts permanents, associée à l'idée que l'on pourrait trouver avec le temps une meilleure solution technique (par exemple, le regain d'intérêt pour la séparation et la transmutation comme excuse pour différer les travaux relatifs à l'évacuation géologique) ; discussions sur la reprise et la surveillance à long terme.</p> <p>Persistance de la méfiance traditionnelle à l'égard de l'industrie nucléaire résultant de politiques d'informations opaques antérieures et des accidents nucléaires (Tchernobyl et Three Mile Island), nécessité d'engager d'immenses programmes de remise en état dans les pays de l'ex-Union soviétique et, dans une moindre mesure, aux États-Unis.</p> <p>Dans de nombreux pays occidentaux, désintérêt pour l'option nucléaire en général.</p> <p>Désaccords, au niveau international, sur les fondements scientifiques de la sûreté et messages contradictoires des scientifiques concernant la sûreté de l'évacuation.</p>

À l'inverse, la tendance dans tous les pays à réexaminer des options comme la séparation et la transmutation ou l'entreposage de longue durée, est généralement considérée comme un facteur négatif, bien que, dans certains pays, par exemple les Pays-Bas et la Belgique, elle ait été jugée positive dans le contexte national. Certains sondés ont relevé, dans les pays occidentaux, un désintérêt pour le nucléaire en général et/ou l'absence d'un sentiment d'urgence quant à la nécessité de développer des dépôts permanents, pour justifier le regain d'intérêt pour les techniques de séparation et de transmutation et l'entreposage. Certaines réponses font mention de facteurs financiers.

La poursuite des travaux de recherche et développement dans le cadre de collaborations internationales, notamment des projets de laboratoires de recherche souterrains, est considérée comme un élément positif important. Plusieurs organisations citent aussi le développement et l'arrivée à maturité des techniques de caractérisation des sites et d'évaluation de la sûreté parmi les facteurs positifs. Les désaccords internationaux quant aux fondements scientifiques de la sûreté et les messages contradictoires des scientifiques concernant la sûreté de l'évacuation ont été cependant perçus comme négatifs.

Le peu d'empressement des pouvoirs publics à prendre des mesures impopulaires ou l'insuffisance des cadres juridiques et réglementaires nationaux sont mentionnés parmi les facteurs négatifs par un petit nombre de sondés. Parallèlement, les déclarations gouvernementales favorables et la mise au point d'un cadre réglementaire et de recommandations appropriés et applicables sont citées et auraient une influence positive dans les pays concernés.

Les organisations ont retenu l'influence négative de la méfiance traditionnelle à l'égard du nucléaire imputable aux politiques de communication antérieures qui consistaient à diffuser l'information au compte-gouttes, contribuant à créer une impression de secret, ainsi que l'effet des accidents nucléaires, en particulier Tchernobyl. En Finlande, cependant, l'absence d'accident au cours de la période récente a été mentionnée dans les facteurs positifs.

Progrès à réaliser au cours de la prochaine décennie

S'agissant des évolutions nécessaires au cours de la prochaine décennie pour progresser vers la mise en œuvre de l'évacuation géologique, les organisations sondées ont cité à nouveau des événements nationaux et internationaux. Les évolutions espérées par les responsables de la gestion des déchets peuvent être regroupées dans des grandes catégories (tableau A 6.5).

De nombreux sondés ont encore insisté sur l'importance des événements et des évolutions au niveau international, en particulier sur l'influence positive de l'aménagement de dépôts à l'étranger qui pourrait apporter la preuve de la sûreté de ces installations. Cela tendrait à prouver que la plupart des responsables de la mise en œuvre des projets et de la réglementation estiment qu'ils sont sur la bonne voie dans leur contexte national, mais qu'une vague de progrès internationaux pourrait leur faire franchir divers obstacles locaux. À l'inverse, les sondés perçoivent la stagnation au niveau international comme fournissant aux adversaires des programmes nationaux de puissants arguments contre la faisabilité des projets d'évacuation. Les responsables qui ont mentionné des conditions nationales spécifiques pour que les programmes de dépôt avancent, mettent l'accent sur les politiques et l'organisation ainsi que sur des mécanismes permettant de convaincre le public d'accepter les solutions techniques actuelles, plutôt que sur la mise au point de solutions techniques perfectionnées.

Tableau A 6.5 : **Évolutions nécessaires à l'accélération des programmes d'évacuation géologique au cours de la prochaine décennie (les plus fréquemment citées)**

Évolutions les plus susceptibles de faire progresser l'évacuation des déchets

Progrès visibles de la mise en œuvre des projets d'évacuation

Implantation réussie de dépôts géologiques dans un ou plusieurs pays – ces dépôts peuvent constituer des exemples d'installations dont la sûreté est démontrée publiquement.

Accord de municipalités/communautés locales, autorisant un responsable de projet à mener des études de site en surface ou à débiter des opérations d'excavation (pour installer un laboratoire souterrain ou pour caractériser le site de dépôt proposé).

Poursuite des travaux sur les dépôts de Gorsleben et de Yucca Mountain et installation de laboratoires de recherche souterrains en France.

Mise en dépôt de déchets transuraniens dans l'installation WIPP.

Attitude plus favorable du public

Mise en place d'un système efficace pour obtenir l'adhésion du public au principe de l'aménagement d'un dépôt géologique dans un site choisi selon un processus défini.

Communication au public et au législateur d'informations suffisantes pour leur faire comprendre l'urgence qu'il y a à aménager des dépôts permanents ainsi que le fait qu'il sera toujours possible d'introduire des solutions techniques plus perfectionnées au cours de la réalisation du projet.

Mise au point de critères de sûreté et de critères technologiques à la fois simples, compréhensibles et harmonisés au plan international, sur lesquels s'appuyer pour la réalisation des programmes de gestion des déchets radioactifs aux niveaux national et international.

Renforcement de la confiance dans les bases scientifiques et les évaluations de la sûreté du dépôt (expériences au stade de la démonstration dans des laboratoires souterrains, par exemple).

Démonstration de la faisabilité de la réalisation et des contrôles de qualité des barrières ouvragées.

Prise de conscience et meilleure compréhension de risques comparables inhérents à toutes les technologies, par rapport à ceux de l'évacuation des déchets.

Amélioration du cadre de développement des projets

Désignation d'organisations chargées de remplir divers rôles, mise au point des cadres législatifs et des processus décisionnels.

Mise au point de critères de sûreté et de critères technologiques à la fois simples, compréhensibles et éventuellement harmonisés au plan international sur lesquels s'appuyer pour la réalisation des programmes de gestion des déchets radioactifs aux niveaux national et international.

Influence moindre du politique sur la réalisation des projets de dépôt et l'exploitation de ces installations.

Déclarations politiques ou stratégiques

Soutien clair des gouvernements en faveur de l'évacuation en profondeur, en tant que solution durable pour la gestion des déchets nucléaires à vie longue.

Réaffirmation sur le plan technique de la sûreté des dépôts.

Autres possibilités

Initiative pour étudier les possibilités de créer des dépôts régionaux et multinationaux.

Étude objective des options stratégiques et techniques de remplacement.

Financement plus important (mentionné seulement par quelques programmes).

Peu de sondés ont souligné le rôle des pouvoirs publics, partant probablement du principe que leur soutien était acquis ou s'imposerait dès que le public accepterait les solutions proposées. Parmi les organismes qui souhaitent l'intervention des pouvoirs publics, il existe des divergences quant au type d'action le plus adapté. Par exemple, des responsables canadiens et britanniques préconisent un soutien ferme et direct du gouvernement en faveur de l'évacuation en profondeur, en tant que solution durable pour la gestion des déchets nucléaires à vie longue, et un cadre procédural clair prévoyant l'approbation par les pouvoirs publics des étapes clés du programme, tandis qu'un responsable allemand espère des décisions politiques raisonnables associées à une moindre influence du politique sur la réalisation d'un projet de dépôt.

Les principales évolutions que les responsables appellent de leurs vœux peuvent être résumées comme suit :

- au niveau international : établissement d'un consensus clair quant à la nécessité de l'évacuation géologique, planifiée et mis en œuvre dans le cadre d'un processus par étapes ; confiance dans la faisabilité technique et la sûreté de ce concept ; matérialisation de ce consensus et de cette confiance par le développement d'un ou plusieurs dépôts dont le fonctionnement donne toute satisfaction.
- au niveau national : définition de processus transparents pour la réalisation par étapes des études d'implantation et de l'aménagement des dépôts, et méthodes permettant de communiquer efficacement et de convaincre le public d'accepter la mise en œuvre graduelle de solutions nationales appropriées.

Annexe 7

**TEXTES ESSENTIELS FIGURANT DANS LES OPINIONS
COLLECTIVES DE L'AEN**

RESUMÉ ET CONCLUSIONS

Les activités industrielles sont considérées comme sûres même si un faible risque subsiste toujours. La doctrine de la radioprotection admet cet état de fait et reconnaît qu'un certain niveau de risque sera également associé à une gestion sûre des déchets radioactifs. En conséquence, la gestion des déchets radioactifs a pour objectif de rechercher une stratégie, qui prise dans son ensemble, soit considérée comme sûre et offre un équilibre acceptable entre toutes les considérations radiologiques, techniques, sociales, politiques et économiques qui entrent en jeu. L'appréciation émise par le Comité de la gestion des déchets radioactifs souligne qu'il est nécessaire de parvenir à un tel équilibre, tout en insistant sur les facteurs radiologiques et techniques, notamment lorsqu'il s'agit des aspects de sûreté à long terme de la gestion des déchets radioactifs.

La conclusion fondamentale qui en ressort est qu'il est maintenant possible de procéder à des évaluations de sûreté à court et à long terme, qui permettent d'avoir confiance dans la possibilité de respecter les objectifs de radioprotection à l'aide de la technologie actuellement disponible pour la plupart des déchets et à un coût qui ne représente qu'une faible fraction du coût total de la production d'électricité d'origine nucléaire. Les autres principales conclusions visant aussi bien les aspects à court terme que les aspects à long terme de la gestion des déchets radioactifs sont les suivantes :

En ce qui concerne le court terme, qui couvre la période d'exploitation des installations de gestion des déchets, et toute période de contrôle institutionnel :

- Les objectifs de radioprotection peuvent être uniformément observés au cours de l'exploitation d'une installation et, par la suite, aussi longtemps que des mesures de contrôle sont maintenues, dans le cas de toutes les méthodes de gestion actuellement appliquées ou envisagées.
- Le stockage peut être utilisé pour tous les types de déchets, à titre de mesure provisoire, dans la mesure où il est accompagné d'une surveillance et de mesures de contrôle appropriées.
- Bien qu'une priorité élevée soit actuellement accordée à la mise au point complète et à la démonstration rapide des méthodes d'évacuation, il n'y a pas d'urgence à évacuer les faibles volumes de déchets de haute activité et de combustible irradié accumulés jusqu'à présent, car ceux-ci pourront continuer à être stockés dans des conditions sûres jusqu'au moment où l'on jugera utile de les évacuer.

En ce qui concerne le long terme, qui va au-delà de la période de contrôle institutionnel :

- Des objectifs de radioprotection à long terme visant spécifiquement l'évacuation des déchets radioactifs ont été mis au point et offrent une base pour juger de l'acceptabilité radiologique des pratiques d'évacuation ou pour élaborer des critères d'évacuation propres à chaque type de déchets.
- Des méthodologies pour l'analyse prévisionnelle des risques ont été mises au point permettant d'évaluer la sûreté à long terme des systèmes d'évacuation.

- La capacité de concevoir et exploiter des systèmes d'évacuation dans des structures géologiques profondes de manière à assurer le confinement à long terme des déchets de haute activité ou du combustible irradié et à atteindre les objectifs de sûreté à long terme applicables, bénéficie d'un degré élevé de confiance.
- Si les aspects à court terme de la gestion des résidus de l'extraction et du traitement de l'uranium ne soulèvent pas de difficulté du point de vue de la sécurité, quelques préoccupations subsistent pour le long terme quant à l'intrusion de l'homme dans les dépôts de résidus et au mauvais usage qui pourrait être fait de ces derniers ; aussi est-il nécessaire d'établir des prescriptions à long terme.

Une impression générale d'optimisme et de confiance se dégage de l'appréciation émise par le Comité de la gestion des déchets radioactifs. Elle découle de l'importante masse de données scientifiques et techniques qui résultent des études et activités de R-D passées et en cours, ainsi que de l'expérience déjà disponible.

- Les travaux de R-D devront se poursuivre, notamment en vue de combler les lacunes que des solutions particulières présentent encore, de recueillir des données propres aux différents sites et d'affiner les études de sûreté.
- Il faudra procéder à des réévaluations périodiques des pratiques et politiques de gestion des déchets en vue de tenir compte de l'évolution des connaissances.
- Le contrôle de qualité à tous les stades est une condition essentielle de la sûreté nucléaire et il devra être appliqué pendant toute la succession des opérations de gestion des déchets.

Dans ce contexte, le Comité de la gestion des déchets radioactifs estime qu'il est à la fois justifié et sûr d'adopter une approche consistant à introduire progressivement les technologies de gestion des déchets à mesure qu'elles deviennent viables à l'échelle industrielle.

CONCLUSIONS : LE POINT DE VUE INTERNATIONAL

La coopération internationale – par l'intermédiaire d'échanges d'informations et de projets communs – joue un rôle important dans la mise au point de méthodes permettant d'analyser la sûreté. En particulier, la coopération internationale favorise l'examen périodique et systématique de l'état des connaissances dans ce domaine et contribue à un débat bien informé et objectifs entre spécialistes.

À la suite de cet examen, le Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN et le Comité consultatif international de l'AIEA sur la gestion des déchets radioactifs :

- **reconnaissent** qu'une connaissance correcte et suffisante des systèmes d'évacuation proposés est une condition préalable essentielle à la réalisation d'analyses de sûreté valables ;
- **notent** que la collecte et l'évaluation des données relatives aux sites d'évacuation proposés constituent les principales tâches qui demandent à être poussées plus avant ;
- **reconnaissent** que l'aptitude à réaliser des analyses de sûreté a sensiblement progressé ;
- **reconnaissent** que les évaluations quantitatives de la sûreté s'assortiront toujours d'éléments d'appréciation qualitatifs ; et
- **notent** que les méthodes d'analyse de la sûreté pourront être et seront encore perfectionnées à la suite des travaux de recherche en cours.

Compte tenu de ces considérations, les deux Comités :

- **confirment** que l'on dispose à l'heure actuelle de méthodes d'analyse de sûreté permettant d'évaluer de façon adéquate les incidences radiologiques potentielles à long terme, sur les êtres humains et l'environnement, d'un système d'évacuation des déchets radioactifs soigneusement conçu ; et
- **estiment** que l'utilisation judicieuse des méthodes d'analyse de sûreté, assortie d'informations suffisantes au sujet des sites d'évacuation proposés, peut constituer la base technique permettant de déterminer si des systèmes d'évacuation spécifiques offriraient à la société un niveau de sûreté satisfaisant pour les générations tant actuelles que futures.

Cette opinion collective est entérinée par les Experts de la CCE chargés du Plan d'action de la Communauté dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.

Tiré de : *La gestion des déchets radioactifs à vie longue. Fondements environnementaux et éthiques de l'évacuation géologique. Une opinion collective du Comité de la Gestion des Déchets Radioactifs de l'AEN, Paris, 1995*

Dans le cadre de son suivi général de la gestion des déchets radioactifs et s'appuyant sur les débats approfondis qui ont eu lieu lors de la récente réunion de travail de l'AEN consacrée aux aspects environnementaux et éthiques de l'évacuation des déchets radioactifs à vie longue, le Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC) a procédé à une réévaluation des fondements environnementaux et éthiques de l'évacuation des déchets en formations géologiques lors de sa Session spéciale de mars 1995. La réflexion du RWMC a porté notamment sur les problèmes d'équité et de justice :

- entre générations, à savoir la responsabilité des générations actuelles concernant les risques et les charges potentielles qu'elles pourraient léguer aux générations futures ;
- au sein des générations contemporaines, à savoir la répartition des ressources et la participation de divers composants de la société contemporaine à un processus de décision équitable et ouvert permettant de choisir les solutions à mettre en œuvre en matière de gestion des déchets.

Les membres du RWMC de l'AEN, ayant analysé avec soin les problèmes environnementaux et éthiques, ainsi qu'ils sont décrits ultérieurement et examinés en détail dans le compte rendu de la Réunion de travail de l'AEN :

- **considèrent** que les principes éthiques d'équité entre générations et au sein des générations contemporaines doivent être pris en compte lors de l'évaluation de l'acceptabilité des stratégies de gestion à long terme des déchets radioactifs ;
- **considèrent** que, du point de vue de l'éthique et de la sûreté à long terme, l'évacuation définitive nous permet de mieux nous acquitter de nos responsabilités à l'égard des générations futures que des solutions d'entreposage provisoire qui sont synonymes de surveillance et de transmission de la responsabilité à long terme des déchets aux générations futures, et peuvent, finalement, être négligées par les sociétés de demain dont on ne peut préjuger de la stabilité ;
- **notent**, après avoir étudié les possibilités d'isoler comme il convient ces déchets de la biosphère, que l'évacuation dans des formations géologiques est la stratégie qui, aujourd'hui, rallie la majorité des suffrages ;
- **estiment** que la stratégie proposée pour l'évacuation dans les formations géologiques :
 - tient compte des questions d'équité entre générations dans la mesure où sont appliquées au futur lointain les mêmes normes de risque qu'aujourd'hui et où les obligations léguées aux générations futures sont limitées ;
 - tient compte également des questions d'équité au sein des générations contemporaines, en proposant que cette stratégie soit mise en œuvre selon un processus progressif s'étalant sur plusieurs décennies et intégrant les progrès de la recherche ; cette démarche permettra de consulter, à chaque étape, les parties intéressées, dont le public ;

- **notent** que le concept d'évacuation des déchets dans les formations géologiques n'exige pas de dispositions particulières pour la reprise des déchets à partir de dépôts profonds, mais que, même après fermeture, il ne serait pas impossible de les reprendre, bien qu'à des conditions coûteuses ;
- **attirent** l'attention des générations actuelles, face à une politique de réduction du risque associé aux dépôts de déchets radioactifs, sur l'importance de ne pas perdre de vue les moyens mis en œuvre dans d'autres domaines où il serait possible d'abaisser plus encore les risques pour l'homme et l'environnement, et de se demander où les moyens disponibles pourraient être utilisés le plus efficacement.

À la lumière de ces réflexions, les membres du Comité :

- **confirment** que l'évacuation définitive des déchets radioactifs dans les formations géologiques peut être conçue et appliquée de façon à prendre en compte et à respecter les considérations éthiques et environnementales fondamentales ;
- **concluent** qu'il est justifié, du point de vue de la protection de l'environnement comme de l'éthique, de poursuivre la mise au point des dépôts en formations géologiques destinés à recevoir les déchets radioactifs à vie longue qu'il convient d'isoler de la biosphère sur des périodes supérieures à quelques siècles ;
- **concluent** que la mise en œuvre graduelle des projets d'évacuation des déchets en formations géologiques laisse place à des adaptations permettant de prendre en compte les progrès de la science ainsi que l'évolution de l'attitude de la société sur plusieurs décennies, et qu'elle n'exclut pas la possibilité d'autres solutions qui pourraient voir le jour ultérieurement.

Annexe 8

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AEN	Agence pour l'énergie nucléaire, Paris, France
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, Autriche
ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, France
CE ; CCE	Commission européenne ; Commission des Communautés européennes
CEDRA/NAGRA	Société coopérative nationale pour l'entreposage des déchets radioactifs, Suisse
CEN/SCK	Centre d'étude de l'énergie nucléaire, Mol, Belgique
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
DHA	Déchets de haute activité
EACL	Énergie atomique du Canada Limitée
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten, Pays-Bas
ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radioactivos, Espagne
GEOTRAP	Projet international OCDE/AEN sur la migration des radionucléides dans les milieux géologiques hétérogènes
GRS	Company for Nuclear and Reactor Safety, Germany
HMIP	Her Majesty's Inspectorate of Pollution (aujourd'hui intégré à l'Environment Agency for England and Wales), Royaume-Uni
IPAG	Groupe de travail sur les évaluations intégrées des performances des dépôts profonds
JNC	Japan Nuclear Cycle Development Institute (anciennement PNC)
Nirex	UK Nirex Ltd, Royaume-Uni
NRI	Nuclear Research Institute, Rez, République tchèque

OCDE/AEN	Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, France
ONDRAF/NIRAS	Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies, Belgique
PA	Performance Assessment
PAAG	Groupe consultatif sur l'évaluation des performances des systèmes d'évacuation des déchets radioactifs
RAWRA	Radioactive Waste Repository Authority, République tchèque
RGD	Rijks Geologische Dienst, Haarlem, Pays-Bas
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Pays-Bas
RWMC	Comité de la gestion des déchets radioactifs
SEDE	Groupe de coordination sur l'évaluation des sites et la conception des expériences pour l'évacuation des déchets radioactifs
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB, Suède
SKI	Statens kärnkraftinspektion, Suède
URL	Underground Research Laboratory
US DOE	Department of Energy, États-Unis
US NRC	Nuclear Regulatory Commission, États-Unis
WIPP	Waste Isolation Pilot Plant, Carlsbad, États-Unis
YMP	Yucca Mountain Project, États-Unis

ÉGALEMENT DISPONIBLE

Publications de l'AEN d'intérêt général

Rapport annuel 1998 (1999)

Disponible sur le Web.

Bulletin de l'AEN

ISSN 0255-7495

Abonnement annuel : FF 240 US\$ 45 DM 75 £ 26 ¥ 4 800

Le Point sur les rayonnements – Applications, risques et protection (1997)

ISBN 92-64-25483-8

Prix : FF 135 US\$ 27 DM 40 £ 17 ¥ 2 850

Le Point sur la gestion des déchets radioactifs (1996)

ISBN 92-64-24692-4

Prix : FF 310 US\$ 63 DM 89 £ 44

Programmes de gestion des déchets radioactifs des pays Membres de l'AEN/OCDE (1998)

ISBN 92-64-26033-1

Prix : FF 195 US\$ 33 DM 58 £ 20 ¥ 4 150

Radioactive Waste Management

Fluid Flow through Faults and Fractures in Argillaceous Formations (1998)

ISBN 92-64-16021-3

Price: FF 400 US\$ 67 DM 119 £ 41 ¥ 8 100

Water-conducting Features in Radionuclide Migration

ISBN 92-64-17124-X

Price: FF 600 US\$ 96 DM 180 £ 60 ¥ 11 600

Lessons Learnt from Ten Performance Assessment Studies (1997)

Gratuit : papier ou Web.

Nuclear Waste Bulletin (1998)

Gratuit : papier ou Web.

*Où en est l'évacuation des déchets radioactifs en formations géologiques –
Une évaluation internationale des progrès récents* (1999)

Gratuit : papier ou Web.

*Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories – Its Development
and Communication* (1999)

Disponible sur le Web.

Domaines stratégiques de la gestion des déchets radioactifs – Position du Comité de l'AEN

de la gestion des déchets radioactifs et orientations de ses travaux (1999) *Gratuit : papier ou Web.*

Bon de commande au dos.

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(66 1999 17 2 P) ISBN 92-64-27194-5 – n° 51100 2000