



RAPPORT N° 293

**SYNTHESE SUR LA PRISE EN COMPTE DU LONG
TERME DANS LA GESTION DES DECHETS
RADIOACTIFS DE HAUTE ACTIVITE**

L. VAILLANT, T. SCHNEIDER (CEPN)

S. GADBOIS (MUTADIS)

Novembre 2005

IRSN Contrat N° DE1/31001042

SIEGE SOCIAL ET ADMINISTRATIF :

ROUTE DU PANORAMA BP 48 F-92263 FONTENAY AUX ROSES CEDEX
TEL : +33 1 58 35 74 67 FAX : +33 1 40 84 90 34
E-MAIL : sec@cepn.asso.fr WEB : <http://www.cepn.asso.fr/>

SOMMAIRE

RESUME		1
1.	INTRODUCTION	5
2.	INDICATEURS UTILISES DANS LE CADRE DES ETUDES DE SURETE DES STOCKAGES DE DECHETS RADIOACTIFS	9
	2.1. Généralités	9
	2.1.1. Les indicateurs de sûreté traditionnels	10
	2.1.2. Utilisation des concentrations en radionucléides	11
	2.1.3. Utilisation des flux de radionucléides	12
	2.1.4. Utilisation de temps ou durée de référence	13
	2.1.5. Synthèse	14
	2.2. Fiabilité temporelle des indicateurs	16
	2.2.1. L'incertitude associée à la biosphère	17
	2.2.2. L'incertitude météorologique	18
	2.3. Utilisation d'indicateurs en fonction de l'échelle de temps considérée	19
	2.3.1. Les recommandations de la CIPR	19
	2.3.2. Les recommandations de l'AIEA	19
	2.3.3. Les recommandations du groupe d'experts de l'AEN	20
	2.3.4. Conclusion	28
3.	ELEMENTS SUR LES ATTENTES DES PARTIES PRENANTES	29
	3.1. Attentes de parties prenantes en Suisse	29
	3.1.1. Le contexte suisse	29
	3.1.2. Le groupe EKRA	30
	3.1.3. L'analyse d'EKRA sur les attentes des associations en matière de long terme	30
	3.1.4. Les suites du groupe EKRA	34

3.2.	Attentes de parties prenantes en Allemagne	35
3.2.1.	Contexte allemand	35
3.2.2.	Le comité AkEnd	35
3.2.3.	Les conclusions du Comité AkEnd sur le long terme	37
3.3.	Attentes de parties prenantes en France	41
3.3.1.	Contexte	42
3.3.2.	Questions et attentes des acteurs meusiens et haut marnais sur le long terme	42
3.4.	Conclusions du Projet COWAM (2003)	49
3.4.1.	Long terme et sûreté	50
3.4.2.	Long terme et développement durable	51
4.	CONCLUSION	55
	REFERENCES	56
	ANNEXE : SYNTHÈSE DES INDICATEURS TRADITIONNELS ET DES COMPLEMENTAIRES UTILISES POUR L'EVALUATION DE SURETE D'UN STOCKAGE GEOLOGIQUE DE DECHETS HAVL	57

TABLEAUX

Tableau 1.	Indicateurs de sûreté pour l'étude d'un stockage géologique de déchets radioactifs	15
Tableau 2.	Indicateurs de sûreté complémentaires pour l'étude d'un stockage géologique de déchets radioactifs	15
Tableau 3.	Indicateurs de performance complémentaires aux indicateurs de sûreté pour l'étude d'un stockage géologique de déchets radioactifs	16
Tableau 4.	Contraintes sur les flux d'activité rejetée dans l'environnement au-delà de 10 000 ans	22
Tableau 5.	Fiabilité des prédictions portant sur l'évolution de différentes composantes d'un stockage en profondeur de déchets de haute activité	24
Tableau 6.	Indicateurs de performance utilisés dans le projet SPIN	25
Tableau 7.	Indicateurs de sûreté à considérer en fonction de l'échelle de temps	26
Tableau 8.	Recommandations du projet SPIN	27
Tableau 9.	Indicateurs de sûreté présentant un intérêt pour l'évaluation de sûreté d'une installation de stockage de déchets de haute activité	57

FIGURES

Figure 1.	Le concept multibarrière	10
Figure 2.	Illustration de la limite de prédiction (en années) de l'évolution du comportement des différents compartiments d'un stockage géologique de déchets radioactifs	17

RESUME

La détermination d'indicateurs pour évaluer la sûreté des stockages de déchets radioactifs à haute activité et à vie longue est confrontée à une dimension temporelle nouvelle dans le domaine de la sûreté. Les risques sanitaires et environnementaux évoluent avec les phases d'exploitation des stockages ou les périodes de temps considérées en phase de post-fermeture. Il convient dès lors de s'interroger sur les possibilités d'adapter les critères de sûreté en fonction des cadres temporels considérés. Par ailleurs, il importe de prendre en considération les préoccupations de la société par rapport à la dimension temporelle relative aux dispositifs de gestion des déchets, ce qui conduit à s'interroger sur l'apport des critères techniques d'évaluation de la sûreté des stockages par rapport à ces préoccupations.

Indicateurs utilisés dans le cadre des études de sûreté des stockages de déchets radioactifs

Un indicateur peut désigner toute caractéristique ou conséquence associée à un système de stockage et pouvant avoir un impact sur la capacité du système étudié à assurer correctement ses fonctions de sûreté. Il peut s'agir :

- De caractéristiques directement mesurables (par exemple concentration des radionucléides dans les eaux souterraines à différentes profondeurs),
- De caractéristiques dérivées de la connaissance du système de stockage (par exemple durée de vie d'un conteneur),
- De résultats des calculs d'évaluation de la performance du système provenant de la modélisation.

Différents indicateurs sont recensés et explicités dans la première partie de ce rapport et présentent un intérêt dans le cadre d'une étude de sûreté d'une installation de stockage de déchets de haute activité.

Après les phases d'exploitation et de surveillance institutionnelle d'une installation de stockage de déchets radioactifs, la sûreté de l'installation résulte principalement d'une combinaison de plusieurs barrières, naturelles ou ouvragées. Les incertitudes portant sur le comportement de ces barrières croissent avec le temps. Ainsi, la fiabilité des indicateurs recensés et utilisés pour attester de l'efficacité d'un système de stockage évolue avec le temps. Dès lors, la question du choix des arguments de sûreté ou la pondération qui leur est affectée avec l'échelle de temps considérée est soulevée. La communauté des experts retient les éléments de consensus suivants :

- Pour une période initiale, au cours de laquelle les radioéléments sont entièrement (ou quasi-entièrement) contenus dans les conteneurs de déchets, les arguments de sûreté doivent être basés sur l'intégrité des conteneurs,
- Lorsque les conteneurs ne peuvent plus être considérés comme une barrière efficace à la diffusion des radioéléments, la démonstration de sûreté doit reposer sur l'évaluation des doses / risques (les hypothèses émises et modèles utilisés devant être étayés),
- Enfin, lorsque ces derniers arguments n'apparaissent plus « fiables » (notamment lorsque l'on ne peut plus préjuger de la stabilité géologique), la démonstration de sûreté peut s'appuyer sur l'évaluation de la radiotoxicité résiduelle des déchets.

Le nécessaire recours à des indicateurs de sûreté et de radioprotection complémentaires à la dose et au risque fait, de même, l'objet d'un consensus. Ces indicateurs présentent pour la plupart l'intérêt d'éviter les difficultés qui reposent sur le traitement de la biosphère, les incertitudes pesant sur l'évolution de cette dernière avec le temps étant rapidement très importantes.

Eléments sur les attentes des parties prenantes

La seconde partie de ce rapport présente une synthèse des différentes préoccupations des parties prenantes par rapport à la dimension temporelle des stockages de déchets en s'appuyant sur les contextes français, allemand et suisse, ainsi que sur les résultats du projet Européen COWAM publiés en 2003. Dans le cadre de ce projet, la question du long terme a été abordée d'une part, au travers des critères de sélection des sites et des critères de sûreté, et, d'autre part, sous l'angle du développement durable.

Les participants au projet COWAM ont confirmé qu'il était primordial que les sites retenus conviennent aux exigences de sûreté : les considérations techniques doivent continuer à avoir un rôle central dans le processus de sélection.

La compensation a par ailleurs été le sujet de nombreuses discussions. Elle a été le point de départ d'un constat sur le déficit d'une vision de long terme pour les territoires d'accueil de sites de gestion des déchets. En effet, sans une réflexion sur le long terme, le fait d'accueillir des installations de gestion des déchets nucléaires est susceptible de se transformer en handicap : l'économie locale risque de pâtir du fait que la compensation puisse être perçue par les investisseurs potentiels comme un indice de risques encourus par la communauté. A l'inverse, une communauté abritant un site risquerait de se retrouver en situation de dépendance si elle asseyait entièrement son développement sur les ressources liées aux installations. Pour certains, il faut réfléchir à inscrire le site dans un projet de développement local plus large. L'intégration et la mise en valeur du site dans le cadre d'une politique de développement régional proposant une vision à long terme pour la région sont ainsi considérées comme des éléments-clés pour l'amélioration de la politique de gestion des déchets nucléaires à court comme à plus long terme.

Les participants de COWAM recommandent de définir un cadre politique, reconnu et accepté par tous les acteurs, qui offre des garanties précises aux acteurs locaux. Il devrait être fondé sur le principe du développement durable, ce qui impliquerait de tenir compte, entre autres :

- De la surveillance du site et de la sensibilisation à long terme des communautés d'accueil,
- Des questions sociales, économiques, environnementales, juridiques et de santé publique,
- Non seulement de la phase d'exploitation des installations mais aussi de leur surveillance à long terme,
- De la nécessité de se ménager des possibilités d'action à l'avenir,
- D'activités économiques alternatives ou complémentaires au stockage.

Conclusion

Deux conceptions distinctes de la prise en compte de la dimension temporelle du stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde sont exposées dans cette étude :

- La démarche de l'expert, en réponse le plus souvent à une demande réglementaire, vise à démontrer la sûreté sur le « long terme » du concept de stockage. Par « long terme », l'expert entend 10^4 , 10^5 voire 10^6 années. Dans le formalisme d'une telle démarche, l'existence d'un site de stockage est une hypothèse de base de la démonstration, et l'expert se focalise sur l'évolution de la géosphère. Les problèmes du court et du moyen termes sont, de fait, évacués.
- Le citoyen, lorsqu'il s'interroge sur le stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde, se projette bien souvent une, deux, voire trois générations en avant. Ses interrogations portent sur l'impact qu'aura l'installation et sa mise en exploitation sur ses enfants, ses petits-enfants, son environnement. Ses interrogations portent par ailleurs sur le concept de réversibilité ou encore sur les moyens à mettre en œuvre pour assurer une surveillance continue et efficace sur le long terme, garantie de la mémoire de l'existence de l'installation, de son contenu, et donc gage de sécurité.

Dès lors, si la démonstration technique de sûreté est reconnue par tout un chacun comme un préalable nécessaire à l'implantation d'une installation de stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde, la considération du long terme n'est pleinement abordée que si les thématiques de la surveillance, de la mémoire et de la solidarité intra- et inter- générationnelle sont soulevées.

1. INTRODUCTION

La détermination d'indicateurs pour évaluer la sûreté des stockages de déchets radioactifs à haute activité et à vie longue (HAVL) est confrontée à une dimension temporelle nouvelle dans le domaine de la sûreté. Les risques sanitaires et environnementaux évoluent avec les phases d'exploitation des stockages ou les périodes de temps considérées en phase de post-fermeture, périodes de temps pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers, voire plusieurs millions d'années. Il convient dès lors de s'interroger sur les possibilités d'adapter les critères de sûreté en fonction des cadres temporels considérés.

Il importe par ailleurs de prendre en considération les préoccupations de la société par rapport à la dimension temporelle relative aux dispositifs de gestion des déchets. Ceci conduit, entre autres, à s'interroger sur l'apport des critères d'évaluation des stockages par rapport à ces préoccupations.

La première partie de ce rapport est consacrée à une synthèse bibliographique portant sur les indicateurs de sûreté et de radioprotection utilisés pour l'évaluation des stockages de déchets HAVL en fonction de l'échelle de temps considérée. Cette synthèse est basée sur une analyse au niveau international des indicateurs retenus par des exploitants ou les autorités (exigences réglementaires) en fonction des différentes périodes de temps et des incertitudes associées à la prévision de l'évolution du stockage.

Les principales références étudiées dans le cadre de ce travail sont :

- *The handling of timescales in assessing post-closure safety of deep geological repositories, Workshop Proceedings, Paris, 16-18 April 2002* ; étant donné l'importance croissante de la prise en compte du cadre temporel dans l'évaluation de sûreté d'un stockage de déchets radioactifs, l'objet de ce workshop était :
 - De faire le point, au sein de la communauté scientifique internationale, sur cette question,
 - De proposer d'éventuelles pistes de travail pour clarifier les problèmes posés,
 - D'améliorer éventuellement le traitement de cette question.
- *Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste, ICRP PUBLICATION 77, May 1997* : dans cette publication la Commission Internationale

de Protection Radiologique (CIPR) note que la stratégie de dilution/dispersion permet d'avoir l'assurance que les groupes critiques sont protégés sous réserve de phénomènes de reconcentration dans l'environnement, car cette stratégie bénéficie des effets de la décroissance radioactive, mais elle oblige à évaluer les expositions potentielles résultant par exemple d'intrusion ou de rupture des barrières de confinement. La CIPR affirme que la gestion des déchets radioactifs ne peut être considérée comme une pratique spécifique et doit au contraire être rattachée à la pratique qui produit ces déchets. Concrètement, cela veut dire que tout changement dans le mode de gestion des déchets doit voir sa pertinence en matière de radioprotection analysée avec les opérations situées en amont. Par ailleurs, la CIPR 77 recommande la prudence dans l'utilisation des doses collectives, en raison des incertitudes affectant les prévisions de doses collectives pour des périodes de temps supérieures à quelques milliers d'années. La CIPR conseille d'utiliser la méthode des détriments sanitaires en retenant comme critère d'évaluation les doses annuelles individuelles réelles ou potentielles.

- *Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived radioactive waste, ICRP PUBLICATION 81, September 1999* : la CIPR recommande, dans cette publication, de recourir à une démarche d'optimisation sous contrainte pour la protection des générations futures. La dose individuelle à un individu exposé à des radioéléments issus d'un stockage de déchets radioactifs en profondeur ne devrait pas excéder 0,3 mSv/an (soit, en terme de risque équivalent, environ 10^{-5} pour une année d'exposition). Les critères d'intervention en cas d'intrusion humaine correspondent aux critères explicités dans les publications précédentes (l'intervention n'est pas justifiée en deçà d'une dose individuelle de 10 mSv/an, elle l'est systématiquement pour une dose individuelle supérieure à 100 mSv/an). Il convient de limiter autant que possible la probabilité d'intrusion humaine.
- *Safety indicators in different time frames for the safety assessment of underground radioactive waste repositories, IAEA, TECDOC-767, 1994* : ce document constitue le premier rapport d'un sous-groupe de travail de l'International Radioactive Waste Management Advisory Committee (INWAC), créé en 1991 et dont les objectifs étaient :
 - La discussion et la résolution, dans la mesure du possible, de controverses ayant trait aux critères et principes de sûreté des stockages de déchets radioactifs,

- La revue des nouvelles idées et concepts en la matière,
- L'établissement de « zones » de consensus,
- La prise en compte des problèmes soulevés dans le cadre du programme RADWASS (Radioactive Waste Safety Standards) de l'AIEA,
- L'échange d'information portant sur les politiques nationales et les critères de sûreté en matière de stockage de déchets radioactifs.

Il traite plus particulièrement de l'établissement d'indicateurs de sûreté appropriés pour le stockage en formation géologique profonde de déchets radioactifs en tenant compte de l'accroissement des incertitudes temporelles.

- *Safety indicators for the safety assessment of radioactive waste disposal, IAEA, TECDOC-1372, 2003* : l'objet de ce rapport est de présenter des éléments issus de la révision par différents experts du document précédemment cité. Ces éléments, même s'ils ne font pas l'objet d'un consensus des Etats membres de l'AIEA, pourraient être utilisés, selon les auteurs, par les personnes en charge, aux échelles nationale et internationale de l'établissement de normes et de critères de sûreté portant sur le stockage de déchets radioactifs en formation géologique.

Dans la synthèse proposée, la définition des principaux indicateurs de sûreté et de radioprotection recensés ainsi que les problèmes liés aux incertitudes temporelles pesant sur l'évaluation de ces indicateurs sont explicités. L'utilisation de ces indicateurs en fonction des différentes échelles de temps, du point de vue des experts, est expliquée.

En sus de ces indicateurs techniques, il importe de prendre en considération les préoccupations de la société par rapport à la dimension temporelle relative aux dispositifs de gestion des déchets. Aussi, dans une seconde partie, ce rapport propose une analyse de quelques éléments des attentes des parties prenantes concernant le long terme et les nouvelles façons de penser le temps qui ont émergé du dialogue entre parties prenantes et experts du domaine des déchets.

Si la préoccupation première des parties prenantes dès lors qu'il s'agit de stockage a trait au choix du site, qui se fait dans le temps présent, la décision est d'autant plus source d'inquiétudes qu'elle semble engager pour un temps très long, voire infini. Cette dissymétrie entre choix présent et engagement pour le futur est la source de nombreuses questions sur le long terme, notamment de la part d'acteurs locaux et associatifs. Ces questions portent d'abord sur les critères qui permettent de démontrer la sûreté des

installations sur le long terme. Elles touchent ensuite au processus de décision, et au caractère réversible de ce processus qui peut autoriser ou non une réorientation ou des aménagements des options de gestion à moyen ou long terme. Enfin, des interrogations nouvelles commencent à se faire jour sur la façon dont l'implantation d'un site s'inscrit dans l'évolution future du territoire, sur les implications et les précautions que cela a en termes de développement social, économique et environnemental.

Si certains traits communs existent, il convient de noter que les préoccupations des parties prenantes sont en partie spécifiques à chaque territoire, à chaque pays. Aussi, il apparaît délicat de synthétiser de manière globale les attentes des parties prenantes, d'autant plus que des études détaillées sur l'ensemble des contextes ne sont pas disponibles actuellement. Dans la seconde partie de ce rapport, quatre contextes où les acteurs locaux et associatifs ont eu l'occasion de faire connaître et de construire leurs questions sont analysés. Cette approche par cas permet d'éclairer le contexte qui peut expliquer ces attentes et le cadre dans lequel elles ont été exprimées. En effet, l'expression de ces attentes dans un cadre formel, que ce soit par le biais du rapport d'un groupe pluraliste ou dans le cadre de réunions d'un comité, revêt à chaque fois un sens dans le processus de décision : elle est le signe que les questions posées sont reconnues comme légitimes et que la qualité du processus de décision repose en partie sur sa capacité à les prendre en compte.

Les conclusions délivrées par le réseau européen COWAM après la première phase de ce projet en 2003 sur la question du long terme sont également présentées dans la seconde partie de ce rapport. Les échanges qui ont eu lieu au sein de ce réseau ont permis de faire émerger un point de vue commun à la fois entre les différents acteurs concernés par la gestion des déchets, et entre diverses expériences nationales au sein de l'Europe.

2. INDICATEURS UTILISES DANS LE CADRE DES ETUDES DE SURETE DES STOCKAGES DE DECHETS RADIOACTIFS

Un indicateur peut désigner toute caractéristique ou conséquence associée à un système de stockage et pouvant avoir un impact sur la capacité du système étudié à assurer correctement ses fonctions de sûreté. Il peut s'agir :

- De caractéristiques directement mesurables (par exemple concentration des radionucléides dans les eaux souterraines à différentes profondeurs),
- De caractéristiques dérivées de la connaissance du système de stockage (par exemple durée de vie d'un conteneur),
- De résultats des calculs d'évaluation de la performance du système provenant de la modélisation.

2.1. Généralités

La finalité d'un site de stockage géologique est d'isoler le plus longtemps possible de la biosphère les substances toxiques contenues dans les déchets. Cette isolation repose, dans la plupart des cas, sur le concept « multibarrière » qu'il convient d'explicitier avant de définir les indicateurs de sûreté et de radioprotection utilisés dans le cadre d'un stockage géologique de déchets radioactifs.

Dans la plupart des concepts de stockage de déchets radioactifs, on distingue trois barrières principales dont le but est de ralentir au maximum la migration des substances toxiques vers la biosphère (Figure 1) :

- La matrice (verre, ciment...) et le conteneur des déchets,
- La barrière ouvragée,
- La géosphère.

Ces différentes barrières doivent permettre d'assurer le confinement des déchets sur le long terme. Selon les pays, la sécurité du stockage ne repose pas de la même façon sur toutes les barrières. En Finlande par exemple, la capacité de confinement du stockage des déchets radioactifs repose essentiellement sur la durée de vie du conteneur des déchets (conteneur en cuivre).

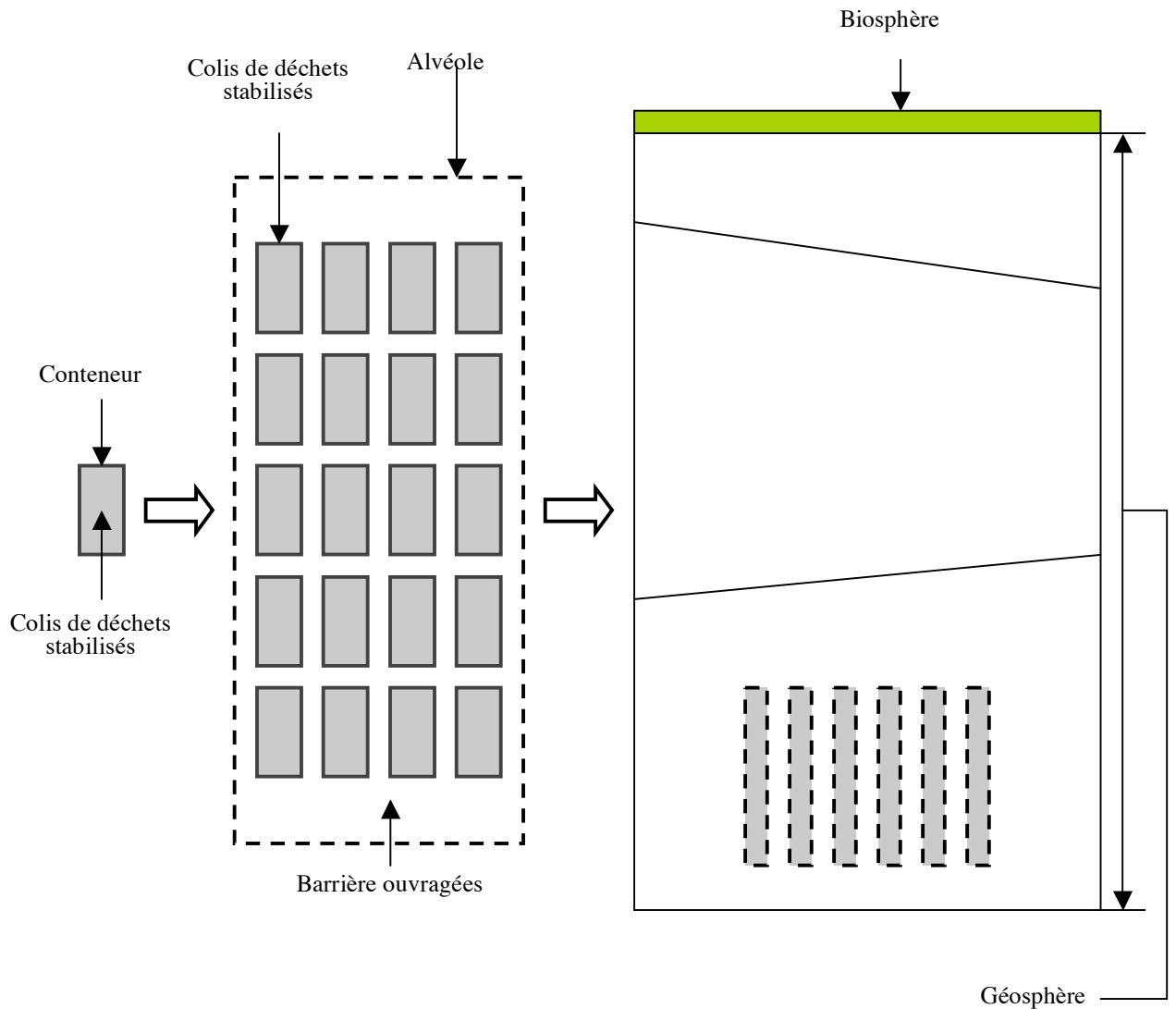


Figure 1. Le concept multibarrière

La plupart des indicateurs évoqués par la suite repose sur la capacité de ces barrières à contenir et à ralentir la migration vers la biosphère des radioéléments présents dans les déchets stockés.

2.1.1. Les indicateurs de sûreté traditionnels

La sûreté d'une installation de stockage en profondeur de déchets de haute activité est traditionnellement évaluée en calculant le débit de dose individuelle annuelle (et le risque de cancer radio-induit associé) à un individu du groupe critique. La plupart des réglementations nationales en matière d'évaluation de la sûreté d'une installation de stockage en profondeur de déchets de haute activité s'appuient uniquement sur ces critères.

Le calcul de la dose individuelle repose sur l'évaluation des concentrations en radionucléides issus des déchets stockés dans l'environnement du groupe critique (sols, eaux en surface ou eaux souterraines...). Ces grandeurs sont converties en dose (ou risque) à partir d'hypothèses portant sur l'évolution de la biosphère (voies d'exposition privilégiées, mode de vie des individus du groupe critique...). Le débit de dose annuelle à un individu du groupe critique est alors comparé à une valeur de référence issue des standards actuels en matière de radioprotection.

Si l'utilité de ces indicateurs est unanimement reconnue, il existe au sein de la communauté des experts un consensus sur la nécessité de compléter ces indicateurs de sûreté traditionnels par d'autres indicateurs de sûreté ou de performance dits complémentaires. Les grandes catégories d'indicateurs complémentaires sont explicitées ci-après. On s'attache pour chacun de ces indicateurs à expliciter quelle grandeur de référence pourrait être utilisée afin de juger de la bonne performance du système de stockage étudié vis-à-vis de cet indicateur (il ne sert en effet à rien d'accumuler des valeurs numériques si l'on ne peut juger de leur signification en se référant à des valeurs jugées « acceptables »).

2.1.2. Utilisation des concentrations en radionucléides

2.1.2.1. Généralités

Un certain nombre de compartiments peuvent être définis entre le déchet de haute activité stocké et l'environnement « accessible », et ce en fonction des spécificités de l'installation et du site considérés. Les concentrations en radionucléides issus des déchets stockés dans ces différents compartiments peuvent être évaluées afin de mesurer les performances de l'ensemble [installation + site] considéré.

Cependant, ces concentrations n'ont pas toutes une signification en termes de sûreté : elles ne sont pas toutes indépendantes les unes des autres et l'on ne dispose pas toujours d'une référence permettant de les interpréter (analogie naturel par exemple). Ainsi, par exemple, les concentrations en radionucléides dans les barrières ouvragées présentent généralement moins d'intérêt que les concentrations en radionucléides dans la couche hôte, dans l'aquifère adjacent à cette couche ou dans les eaux de surface (eaux potentiellement accessibles à la consommation) qui peuvent constituer des indicateurs complémentaires intéressants.

2.1.2.2. Concentrations de référence

Les concentrations moyennes en radionucléides (et autres substances toxiques) naturellement présents dans l'environnement (en surface et à proximité) sont relativement bien connues. Certains projets internationaux devraient par ailleurs conduire à un renforcement des connaissances en matière de géochimie, en partie sur le volet radiologique. Les normes de potabilité de l'eau peuvent aussi constituer des références utiles.

Cependant, le choix de concentrations en radionucléides naturellement présents dans l'environnement à des fins de comparaison pose deux problèmes qu'il importe de ne pas négliger :

- Certains radionucléides provenant du dispositif de stockage n'ont pas d'équivalent naturel. Il conviendrait de développer des concentrations de référence permettant de juger des risques potentiels pour la santé de l'homme et pour l'environnement associés à ces radionucléides,
- Il est nécessaire de choisir quelle concentration doit servir de référence (valeur mesurée localement, intervalle de concentrations qui rend compte des valeurs mesurées dans un bassin régional...).

2.1.3. Utilisation des flux de radionucléides

2.1.3.1. Généralités

Tout comme les concentrations, les valeurs de flux de radionucléides à travers une barrière (réelle ou hypothétique) peuvent être utilisées afin de mesurer les performances de l'ensemble [installation + site] considéré. L'estimation des flux permet en effet de mesurer la performance « dynamique » d'une interface ou d'une barrière du système.

Les flux de radionucléides au niveau de l'interface géosphère – biosphère sont, à ce titre, particulièrement pertinents, si tant est que des grandeurs de référence soient disponibles.

2.1.3.2. Flux de référence

Certains processus naturels telles l'érosion ou la circulation des eaux souterraines sont à l'origine d'un transport continu de matière (dont des radionucléides naturels et d'autres substances toxiques) entre la croûte terrestre et l'environnement en surface. La connaissance de ces flux permet, en principe, de déterminer un « intervalle de flux » de référence pour différents radioéléments et substances toxiques, qui peut être utilisé à titre de comparaison dans une étude de performance.

Le choix de ces grandeurs à des fins de comparaison pose les mêmes difficultés que celles évoquées pour le choix des concentrations de référence.

2.1.4. Utilisation de temps ou durée de référence

2.1.4.1. Généralités

Certains procédés qui affectent le stockage et dont l'étude dans le cadre d'une évaluation de sûreté s'avère pertinente sont caractérisés par un intervalle de temps au cours duquel ils se déroulent. Ces intervalles de temps peuvent être déterminés à partir d'expériences, de certaines spécificités techniques ou de calculs de modélisation.

Dans le cas d'un concept de stockage qui repose entre autres sur des conteneurs à très longue durée de vie, le temps de confinement total des déchets (i.e la durée de vie du conteneur) est un indicateur de sûreté complémentaire pertinent. En effet, si le temps de confinement est suffisamment long, la radiotoxicité des déchets peut décroître à un niveau jugé sûr par les experts.

Par contre la durée de dissolution complète de la matrice au sein de laquelle sont piégés les radionucléides devrait plutôt être considérée comme un indicateur de performance de l'un des sous-système étudiés et non pas un indicateur de sûreté complémentaire. En effet, dès que l'eau est en contact avec cette matrice, un relâchement de radionucléides ne peut pas être exclu et des considérations sur le temps de transfert de ces radionucléides et leur durée de vie doivent être prises en compte.

2.1.4.2. Temps ou durée de référence

Un point essentiel pour les experts qui cherchent à fixer des intervalles de temps portant sur certains procédés et rendant compte de la performance d'une barrière ou de son intérêt en termes d'indicateur de sûreté complémentaire est la décroissance de l'activité des déchets qui, à une certaine « date de référence », rejoindra des niveaux comparables à ceux de matériaux naturels. Cette « date de référence », lorsque, par exemple, le temps de confinement des radionucléides à l'intérieur des conteneurs est utilisé comme indicateur de sûreté complémentaire, peut sembler une référence adéquate.

L'évaluation de cette « date de référence » nécessite de quantifier le danger associé à la radioactivité des déchets afin de le comparer au danger associé au matériau naturel auquel on se réfère. Une mesure de la radiotoxicité totale des déchets peut être obtenue, par exemple, en sommant les ratios des activités de chacun des radionucléides présents avec leur limite annuelle d'ingestion ou d'inhalation.

Ainsi, pour des déchets vitrifiés de haute activité ou des assemblages de combustible irradié stockés en l'état, la « date de référence » peut être l'instant auquel la radiotoxicité des déchets contenus dans l'installation de stockage est identique à la radiotoxicité de la masse de minerai d'uranium naturel utilisé pour produire ces déchets. On comparera alors la durée de vie du conteneur à la durée nécessaire pour que la radiotoxicité des déchets soit comparable à celle d'un minerai d'uranium naturel par exemple.

2.1.5. Synthèse

Les Tableaux ci-dessous indiquent un ensemble d'indicateurs de sûreté, d'indicateurs de sûreté complémentaires et d'indicateurs de performance complémentaires pouvant présenter, d'après les experts, un intérêt dans le cadre d'une étude de sûreté d'une installation de stockage de déchets de haute activité.

Tableau 1. Indicateurs de sûreté pour l'étude d'un stockage géologique de déchets radioactifs

Indicateur	Source	Champ d'application	Référence envisageable
Risque	Résultats de l'étude de performance du système	Homme	Contrainte ou limite de risque
Dose	Résultats de l'étude de performance du système	Homme	Contrainte ou limite de dose
Impacts environnementaux	Résultats de l'étude de performance du système	Autres espèces	Normes de protection de l'environnement

Tableau 2. Indicateurs de sûreté complémentaires pour l'étude d'un stockage géologique de déchets radioactifs

Indicateur	Source	Champ d'application	Référence envisageable
Concentrations en radionucléides à l'extérieur du champ proche	Résultats de l'étude de performance du système	Environnement « accessible » à l'homme	Niveaux de concentration relevés dans l'environnement
Flux de radionucléides à l'extérieur du champ proche	Résultats de l'étude de performance du système	Environnement « accessible » à l'homme, interface géosphère-biosphère	Flux relevés dans l'environnement
Temps de confinement	Expérience, spécificités techniques, modélisation des processus de corrosion et de diffusion	Conteneur, barrières ouvragées, géosphère	« Dates de référence »

Tableau 3. Indicateurs de performance complémentaires aux indicateurs de sûreté pour l'étude d'un stockage géologique de déchets radioactifs

Indicateur	Source	Champ d'application	Référence envisageable
Temps de transfert des radionucléides	Evaluations quantitatives portant sur l'ensemble du système ou certains sous-systèmes	Barrières ouvragées ou géosphère	Période des radionucléides
Concentrations en radionucléides dans le champ proche	Résultats de la modélisation de l'évolution du système	Barrières ouvragées	Critères relatifs à l'analyse de sensibilité du système
Flux de radionucléides dans le champ proche	Résultats de la modélisation de l'évolution du système	Barrières ouvragées	Critères relatifs à l'analyse de sensibilité du système
Critères qui contrôlent la diffusion spacio-temporelle (par exemple vitesse de décomposition de la matrice vitreuse)	Expérience, spécificités techniques, modélisation des processus de diffusion	Barrières ouvragées ou géosphère	Critères dérivant des calculs de performance du système
Age des eaux souterraines	Paléohydrogéologie, caractérisation du site	Géosphère	Echelle de temps considérée dans l'évaluation
Autres propriétés physico-chimiques (par exemple densité des matériaux utilisés pour la barrière ouvragée)	Expérience, spécificités techniques, modélisation des processus de diffusion	Barrières ouvragées ou géosphère	Critère développé par les autorités de sûreté ou par l'opérateur

2.2. Fiabilité temporelle des indicateurs

Après les phases d'exploitation et de surveillance institutionnelle d'une installation de stockage de déchets radioactifs, la sûreté de l'installation résulte principalement, comme cela a été explicité dans les paragraphes précédents, d'une combinaison de plusieurs barrières, naturelles ou ouvragées. Les incertitudes portant sur le comportement de ces barrières croissent avec le temps. Ainsi, la fiabilité des indicateurs utilisés pour attester de l'efficacité d'un système de stockage (dose, concentration en radionucléides dans les eaux souterraines, temps de diffusion des radionucléides à travers une barrière ouvragée...) évolue avec le temps (Figure 2).

L'objet de ce paragraphe est de fournir certains éléments permettant de juger de la fiabilité temporelle des différents indicateurs évoqués précédemment.

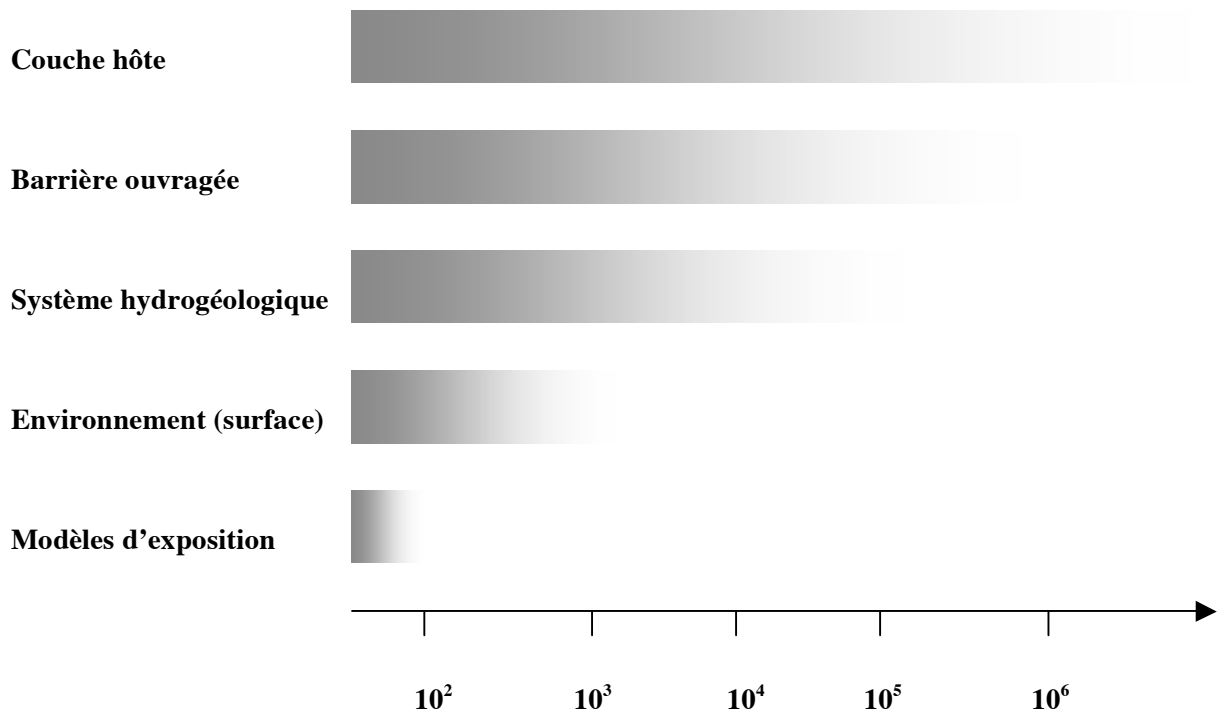


Figure 2. Illustration de la limite de prédiction (en années) de l'évolution du comportement des différents compartiments d'un stockage géologique de déchets radioactifs

2.2.1. L'incertitude associée à la biosphère

L'évolution de la biosphère et du mode de vie des individus n'est prévisible, dans le meilleur des cas, que pour les quelques centaines d'années à venir. L'incertitude associée à l'ensemble des indicateurs reposant sur la modélisation de la biosphère, la dose efficace annuelle à un individu du groupe critique par exemple, croît en conséquence rapidement. Néanmoins, l'évaluation de la dose annuelle à un individu du groupe critique et du risque associé est jugée nécessaire (au moins à titre indicatif) par la plupart des experts et des réglementations. L'AIEA indique ainsi que la dose et le risque sont des critères de sûreté internationalement reconnus pour juger de l'acceptabilité d'une installation de stockage en profondeur de déchets de haute activité,

tout en soulignant le fait que l'utilisation de ces indicateurs se heurte à l'incertitude pesant sur leur évaluation sur les périodes de temps considérées¹.

Certaines études pointent le fait qu'au-delà du mode de vie qui ne caractérise que les hommes d'aujourd'hui, les coefficients de doses par ingestion ne sont pas « applicables » pour les générations futures. L'évaluation de la radiotoxicité (en termes de flux, de concentrations ou d'inventaire) sur le long terme n'est ainsi pas jugée adéquate. Pour contourner, en partie, les difficultés posées par la modélisation de la biosphère sur le moyen et le long termes, l'AIEA recommande l'utilisation de plusieurs biosphères de référence et d'indicateurs de performance complémentaires à la dose et au risque. L'intérêt de ces indicateurs est de dériver de calculs de migration des radionucléides, ce qui élimine l'incertitude liée à l'évolution de la biosphère.

Les efforts pour l'évaluation des performances d'un stockage de déchets de haute activité sur le long terme devraient donc porter, préférentiellement, sur le transfert de radionucléides dans la biosphère. L'AIEA constate toutefois que ces indicateurs complémentaires présentent plusieurs inconvénients : absence d'un consensus international sur leur utilisation et manque d'information sur les analogues naturels pouvant servir de référence.

2.2.2. L'incertitude météorologique

Une période de glaciation est attendue d'ici à quelques dizaines de milliers d'années. Cet événement météorologique devrait entraîner d'importantes modifications des processus d'écoulement de l'eau dans l'aquifère et entacher d'incertitudes les flux ou les concentrations calculées. L'utilisation d'indices de radiotoxicité peut dès lors sembler adéquate, et ce d'autant plus si la radiotoxicité des déchets devient comparable à celle d'un minerai d'uranium naturel (possibilité d'établir des comparaisons avec les analogues naturels).

¹ Safety indicators for the safety assessment of radioactive waste disposal, IAEA, TECDOC-1372, 2003. L'AIEA explique que l'incertitude est, entre autres, liée à la difficulté de modéliser la biosphère sur les échelles de temps considérées (les barrières ouvragées ont, par exemple, une stabilité beaucoup plus longue que la biosphère).

2.3. Utilisation d'indicateurs en fonction de l'échelle de temps considérée

2.3.1. Les recommandations de la CIPR

Dans le cadre de cette étude, les publications 77 (Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste) et 81 (Radiological protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste) de la CIPR ont été étudiées. Cependant, ces publications apportent peu d'informations sur le thème abordé dans cette synthèse.

2.3.1.1. La publication 77

La Publication 77 indique que les standards actuels en termes de contrainte de dose (et de risque associé) doivent servir de référence pour l'évaluation de la dose (du risque) à un individu du groupe critique, pour lequel la Commission préconise une contrainte de dose inférieure ou égale à 0,3 mSv/an. Par ailleurs, si l'utilisation de la dose collective est délicate (incertitudes croissantes avec le temps sur l'évaluation de la dose individuelle, la taille de la population concernée...), la Commission recommande de présenter les résultats sous la forme d'une matrice dose / temps.

2.3.1.2. La publication 81

La Publication 81 indique que les évaluations quantitatives de dose et de risque ne sont plus fiables au-delà de quelques centaines d'années. On préférera alors des évaluations qualitatives et des comparaisons avec un critère approprié de manière à fournir une indication sur l'acceptabilité en termes de sûreté du système de stockage étudié. La Commission recommande le recours à d'autres comparaisons qualitatives complémentaires de manière à renforcer la signification des résultats fournis par les études de performance (comparaison de la radiotoxicité des déchets avec des analogues naturels ou artificiels par exemple).

2.3.2. Les recommandations de l'AIEA

Dans un rapport intitulé « Safety indicators in different time frames for the safety assessment of underground waste repositories » (1994), l'AIEA a identifié divers indicateurs et a discuté leur intérêt potentiel en fonction de l'échelle de temps

considérée. L'AIEA considère que les données fournies dans ce rapport sont toujours d'actualité².

Les indicateurs identifiés sont les flux de radionucléides (au travers de la géosphère, à l'interface géosphère / biosphère), les temps de transport des espèces minérales dans les barrières ouvragées et les barrières géologiques, la concentration des radionucléides dans l'environnement et les indicateurs de radiotoxicité qu'il convient de comparer à des analogues naturels tels les minerais d'uranium naturel.

Le rapport conclut que jusqu'à 100 000 ans, la dose et le risque sont, sur le plan réglementaire, les indicateurs de sûreté les plus appropriés, mais ils peuvent être « complétés » par d'autres indicateurs. Au-delà, l'évaluation de la dose et du risque a de moins en moins de sens et les indicateurs complémentaires doivent jouer un rôle de plus en plus important dans l'évaluation de sûreté. Toutefois, le rapport indique qu'après 1 000 000 ans, la signification en termes de sûreté de tout indicateur est très questionnable.

2.3.3. Les recommandations du groupe d'experts de l'AEN³

Un workshop de l'Agence de l'Energie Nucléaire portant sur la prise en compte de la dimension temporelle pour l'évaluation de la sûreté d'une installation de stockage de déchets de haute activité s'est tenu à Paris en 2002. L'objet de cette section est de rendre compte des principaux éléments exposés lors de ce Workshop.

2.3.3.1. *Les aspects réglementaires*

L'objectif de ce paragraphe est de présenter certains éléments portant sur l'articulation indicateur de sûreté – cadre temporel. Il ne vise pas à fournir une description détaillée de l'ensemble des recommandations des réglementations nationales en matière d'étude de sûreté d'un stockage de déchets de haute activité.

² Safety indicators for the safety assessment of radioactive waste disposal, IAEA, TECDOC-1372, 2003.

³ The handling of timescales in assessing post-closure safety of deep geological repositories, Workshop Proceedings, Paris, 16-18 April 2002.

La réglementation finlandaise

La réglementation finlandaise distingue 4 périodes de temps pour lesquelles elle définit des critères de sûreté et recommande l'utilisation d'indicateurs de performance autres que la dose et le risque. Elle se démarque en cela des autres réglementations nationales dont un exemple est fourni dans le paragraphe suivant.

Au cours de la période d'exploitation de l'installation (quelques dizaines d'années), la réglementation finlandaise demande à l'opérateur de veiller à ce que les points suivants soient respectés :

- En fonctionnement normal, les rejets de substances radioactives dans l'environnement doivent rester à un niveau non significatif,
- En fonctionnement normal, la dose annuelle efficace au membre du public le plus exposé doit être inférieure à 0,1 mSv,
- En situation accidentelle, la dose annuelle efficace au membre du public le plus exposé doit être inférieure à 1 mSv.

La seconde période distinguée par la réglementation finlandaise s'étend sur quelques milliers d'années. Elle correspond à la période au cours de laquelle l'évolution de l'environnement est prévisible. Au cours de cette période, les barrières ouvragées doivent procurer un confinement quasi-total des déchets stockés. Malgré l'évolution de la biosphère, la réglementation indique qu'une estimation conservatrice de l'exposition de l'homme peut être réalisée et le critère de sûreté adopté est la contrainte de dose :

- La dose efficace annuelle du membre du public le plus exposé doit être inférieure à 0,1 mSv,
- La dose efficace annuelle moyenne des autres membres du public doit être à un niveau non significatif.

Au-delà de 10 000 ans (i.e. période au cours de laquelle des changements climatiques d'importances sont attendus), l'évaluation de l'exposition humaine présente de très grandes incertitudes. La réglementation finlandaise précise alors des contraintes sur les rejets d'activité dans l'environnement (Tableau 4). Ces contraintes dérivent de calculs effectués sur une biosphère de référence et ont été comparées avec des valeurs de flux naturels de radionucléides.

Tableau 4. Contraintes sur les flux d'activité rejetée dans l'environnement au-delà de 10 000 ans

Radionucléide	Contrainte (GBq/an)
¹⁰⁷ Pd, ¹⁵¹ Sm	100
⁵⁹ Ni	30
⁹³ Zr	10
⁹⁹ Tc	3
¹²⁶ Sn et ⁹⁴ Nb	1
¹⁴ C, ³⁶ Cl et ¹³⁵ Cs	0,3
Isotopes à vie longue de U	0,3
⁷⁹ Se, ¹²⁹ I et ²³⁷ Np	0,1
Isotopes à vie longues et émetteurs α de Rd, Th, Pa, Pu, Am et Cu	0,03

Ces contraintes s'appliquent pour un scénario d'évolution normal, au-delà de plusieurs milliers d'années. Les activités rejetées dans l'environnement peuvent être moyennées sur 1000 ans au plus.

Enfin, au-delà de 200 000 ans, l'activité des déchets est considérée comme inférieure à l'activité contenue dans le minerai d'uranium naturel qui a été utilisé pour fabriquer les assemblages de combustible : si certaines analyses qualitatives peuvent être effectuées (comparaison avec des analogues naturels...), aucune étude quantitative n'est demandée.

La réglementation française

Le texte réglementaire principal en matière d'étude de performance d'un stockage en profondeur de déchets de haute activité est la Règle Fondamentale de Sûreté III.2.f (1991).

Un site de stockage adéquat doit être stable pendant au moins 10 000 ans. Au cours de cette période, une limite de dose de 0,25 mSv/an pour l'individu du groupe critique le plus exposé doit être respectée. Au-delà de 10 000 ans, cette valeur doit être utilisée comme une référence pour juger de manière qualitative des résultats de l'étude de performance.

Trois périodes successives sont distinguées, sans pour autant qu'il soit fait mention, comme dans le cas finlandais, de l'utilité de prendre en compte des indicateurs de performance ou de sûreté complémentaires :

- Jusqu'à 500 ans, il est considéré que la mémoire de l'installation de stockage est conservée,
- Jusqu'à 50 000 ans, il est considéré qu'aucun phénomène de glaciation n'est attendu,
- Au-delà de 50 000 ans, une attention particulière doit être portée aux phénomènes de glaciation.

2.3.3.2. Les recommandations des experts internationaux

De nombreux experts soulignent l'utilité d'indicateurs comme les concentrations, les flux ou les indices de radiotoxicité, mais à la condition de posséder des valeurs de référence fiables qui prennent en compte les spécificités du site et de l'installation étudiés (analogues naturels, résultats de mesures locales, durée de vie des conteneurs...). Les experts soulignent que la validité de ces indicateurs est fonction de l'horizon temporel considéré. Certains experts indiquent différents horizons temporels au-delà desquels les incertitudes pesant sur certaines composantes de l'évaluation de sûreté sont trop importantes pour qu'un indicateur de sûreté reposant, entre autres, sur une ou plusieurs de ces composantes puisse fournir un résultat « crédible » (Tableau 5).

Tableau 5. Fiabilité des prédictions portant sur l'évolution de différentes composantes d'un stockage en profondeur de déchets de haute activité

	Schneider, Zuidema, Smith	Umeki, Smith	Workshop
Modèles d'exposition aux rayonnements	De quelques dizaines d'années à 100 ans	Environ 100 ans	Quelques dizaines d'années
Processus environnementaux à la surface	Quelques milliers d'années	Environ 10 ⁴ ans	Quelques centaines d'années
Système hydrogéologique	10 ⁶ ans	Environ 10 ⁵ ans	Quelques dizaines de milliers d'années
Barrière ouvragée et couche hôte	Au-delà de 10 ⁶ ans	Environ 10 ⁵ ans	Quelques dizaines à quelques centaines de milliers d'années
Géosphère		Environ 10 ⁵ ans	Quelques centaines de milliers d'années à plus d'un million d'années

Dans la colonne WORKSHOP ont été reportées les valeurs retenues dans la synthèse du Workshop. Ces valeurs peuvent être considérées comme consensuelles.

2.3.3.3. Les résultats du projet SPIN

L'objectif du projet européen SPIN (Testing of Safety and Performance INDicators) était d'analyser et de tester différents indicateurs de sûreté et de performance pour les installations de stockage en profondeur de déchets de haute activité.

Indicateurs de performance

Plusieurs indicateurs de performance⁴ ont été identifiés et testés pour différents compartiments ou barrières des systèmes étudiés, comme indiqué dans le Tableau 6 ci-

⁴ Pour les experts du projet SPIN, un indicateur de performance doit rendre compte de la performance globale du système, d'un compartiment ou d'une barrière. Il rend compte du comportement d'un ou de l'ensemble des radionucléides et permet d'établir une comparaison entre différentes options ou une comparaison avec des critères techniques de référence.

après. Ces indicateurs peuvent être classés en plusieurs catégories : inventaires (en Bq ou en Sv), flux (en Bq/an ou en Sv/an), flux intégrés (en Bq ou en Sv), concentration (Bq/m³) et temps de transport (années).

Tableau 6. Indicateurs de performance utilisés dans le projet SPIN

Compartiments	Indicateur de Performance				
	Inventaire (Bq ou Sv)	Flux (Bq ou Sv/an)	Flux intégré (Bq ou en Sv)	Concentration (Bq/m ³)	Temps de transport (an)
Déchet	Oui	Oui	Oui	-	-
Colis de déchet	Oui	Oui	Oui	Oui	
Matériau barrières ouvragées	Oui	Oui	Oui	-	Oui
Champ proche	-	-	-	Oui	-
Géosphère	Oui	Oui	Oui	-	Oui
Biosphère	Oui	-	-	Oui	-

Indicateur de sûreté

Le projet SPIN fait référence à plusieurs indicateurs de sûreté⁵ :

- Débit de dose efficace (Sv/an),
- Radiotoxicité hors de la géosphère (Sv),
- Flux intégré sur le temps de radiotoxicité hors de la géosphère (Sv),
- Radiotoxicité volumique dans l'eau de la biosphère (Sv/m³),
- Flux de radiotoxicité hors de la géosphère (Sv/an),
- Activité volumique relative dans l'eau de la biosphère,
- Flux d'activité relatif hors de la géosphère.

Le fait que certains indicateurs semblent plus adaptés suivant l'échelle de temps considérée est souligné et les experts du projet recommandent d'avoir recours à une

⁵ Pour les experts du projet SPIN, un indicateur de sûreté doit rendre compte de la sûreté du système dans son ensemble. Il fournit une information relative à l'ensemble du spectre des radionucléides qui est comparée à une valeur de sûreté de référence.

pondération entre ces différents indicateurs, pondération qui évolue en fonction du temps.

Le débit de dose efficace est considéré comme un très bon indicateur pour le court terme mais est inapproprié au-delà, car l'évolution de la biosphère n'est pas prévisible. La dilution dans l'aquifère est aussi fonction du temps, mais ce phénomène est considéré comme « plus stable ». Les indicateurs dont le calcul fait intervenir la dilution dans l'aquifère mais ne repose pas sur la modélisation de la biosphère sont adaptés pour le moyen terme. Enfin, si les incertitudes associées à la modélisation de la biosphère et le phénomène de dilution dans l'aquifère n'interviennent pas dans le calcul d'un indicateur, celui-ci est approprié aux évaluations sur le long-terme. Ainsi, les activités volumiques relatives ou les flux d'activité relatifs peuvent être de bons indicateurs de sûreté si l'on dispose de valeurs de référence.

Tableau 7. Indicateurs de sûreté à considérer en fonction de l'échelle de temps

Indicateur	L'indicateur est-il fonction de :			Echelle de temps adaptée à l'utilisation de l'indicateur
	Modélisation de la biosphère	Dilution dans l'aquifère	Coefficients de doses	
Débit de dose efficace	Oui	Oui	Oui	Court terme
Radiotoxicité volumique dans l'eau de la biosphère	Non	Oui	Oui	Moyen terme
Flux de radiotoxicité depuis la géosphère	Non	Non	Oui	Long terme
Activité volumique relative dans l'eau de la biosphère	Non	Oui	Non	Long terme *
Flux d'activité relatif depuis la géosphère	Non	Non	Non	Très long terme *

* Utilisation fonction de la disponibilité de valeurs de référence et de schéma de pondération adéquat

Les experts du projet SPIN recommandent par ailleurs de bien prendre en compte les spécificités des différents radionucléides : certains sont plus importants en termes de sûreté que d'autres et il convient de prendre cela en compte en ayant recours à un système de pondération. Une synthèse des recommandations du groupe d'experts figure dans le Tableau 8.

Tableau 8. Recommandations du projet SPIN

Indicateur	Recommandation
Débit de dose efficace	Doit être utilisé tout au long de l'étude de sûreté, mais un poids plus important doit lui être accordé pour le court et le moyen termes
Radiotoxicité en dehors de la géosphère	Ces indicateurs ne doivent pas être utilisés en l'absence de valeurs de référence
Flux de radiotoxicité depuis la géosphère intégré sur le temps	
Radiotoxicité volumique dans les eaux de la biosphère	Cet indicateur doit être utilisé pour le long terme
Flux de radiotoxicité depuis la géosphère	Cet indicateur doit être utilisé pour le long terme
Activité volumique relative dans l'eau de la biosphère	Cet indicateur ne doit pas être utilisé
Flux d'activité relatif depuis la géosphère	Cet indicateur doit être utilisé si cela est recommandé ou exigé

2.3.3.4. Synthèse des résultats

Lors de la synthèse du Workshop, à la question : « Comment les arguments de sûreté, ou la pondération qui leur est affectée, doivent-ils évoluer avec l'échelle de temps considérée », les experts, en guise de réponse, retiennent les éléments de synthèse ci-dessous :

- Pour une période initiale, au cours de laquelle les radioéléments sont entièrement (ou quasi-entièrement) contenus dans les conteneurs de déchets, les arguments de sûreté doivent être basés sur l'intégrité des conteneurs,
- Lorsque les conteneurs ne peuvent plus être considérés comme une barrière efficace à la diffusion des radioéléments, la démonstration de sûreté doit reposer sur l'évaluation des doses / risques (les hypothèses émises et modèles utilisés devant être étayés),

- Enfin, lorsque ces derniers arguments n'apparaissent plus « fiables » (notamment lorsque l'on ne peut plus préjuger de la stabilité géologique), la démonstration de sûreté peut s'appuyer sur l'évaluation de la radiotoxicité résiduelle des déchets.

2.3.4. Conclusion

Le nécessaire recours à des indicateurs de sûreté et de radioprotection complémentaires à la dose et au risque fait l'objet d'un consensus. Ces indicateurs (concentrations en radioéléments, flux des radioéléments, durée de vie des conteneurs...) présentent pour la plupart l'intérêt d'éviter les difficultés qui reposent sur le traitement de la biosphère, les incertitudes portant sur l'évolution de cette dernière avec le temps étant rapidement très importantes. Cependant, il est aussi unanimement reconnu par les experts que le calcul de la dose et du risque associé est nécessaire, ne serait-ce que pour répondre aux demandes réglementaires de la plupart des législations nationales.

3. ELEMENTS SUR LES ATTENTES DES PARTIES PRENANTES

Cette section propose une synthèse faisant émerger quelques unes des préoccupations des parties prenantes (en France, en Allemagne et en Suisse) par rapport à la dimension temporelle des stockages de déchets, en s'appuyant notamment sur les travaux réalisés dans le cadre du réseau Européen COWAM.

3.1. Attentes de parties prenantes en Suisse

3.1.1. Le contexte suisse

En 1994, la commune de Wolfenschiessen a accepté par votation d'accueillir la société chargée de la construction et de l'exploitation du site de stockage : GNW – Coopérative du Wellenberg pour la gestion des déchets radioactifs. Bien que les questions nucléaires relèvent de la réglementation fédérale, le canton de Nidwald a utilisé une disposition de la loi sur les mines pour accorder une concession spéciale pour l'utilisation du sous-sol. La concession a été octroyée par le gouvernement du canton en janvier 1995. Cette décision, toutefois, devait être avalisée par une votation populaire cantonale. Le 25 juin 1995, les électeurs ont rejeté la demande de GNW par 51,9 % des voix.

Le vote négatif du canton a engendré une situation politique délicate. Pour le porteur du projet comme pour les autorités fédérales se posait un dilemme : un site susceptible de convenir du point de vue géologique devait-il être abandonné pour des raisons politiques ? Les raisons du vote négatif ont été analysées en détail. Plusieurs initiatives ont été prises aux plans national et cantonal pour réviser le projet. Le gouvernement du canton de Nidwald a repris la critique formulée à l'approche de la votation de 1995 (qui a, par ailleurs, été confirmée par un sondage commandé par GNW immédiatement après la votation). Si un nouveau projet devait être proposé, il était nécessaire de développer une approche par étapes et de changer de concept pour améliorer les possibilités de contrôle et de récupération des déchets.

3.1.2. Le groupe EKRA

Dans cette perspective, le gouvernement fédéral a nommé en 1999 un groupe d'experts, dénommé EKRA, chargé de comparer les différents concepts techniques de gestion des déchets radioactifs.

EKRA a réuni sept experts suisses et allemands dans le domaine de la géologie, de la gestion des déchets nucléaires, de l'éthique, de l'analyse des risques et de la sûreté, de l'hydrogéologie et du génie minier. Sur la base d'un mandat consistant en une comparaison des différents modes de gestion des déchets, EKRA a développé un concept de stockage contrôlé de long terme. Le groupe a conduit des auditions des autorités fédérales, d'organisations de protection de l'environnement et de représentants des opérateurs. Son rapport rend compte des attentes de ces différents acteurs sur les concepts de gestion des déchets. Implicitement, le groupe a cherché à faire émerger un concept qui puisse être partagé par les différents acteurs.

3.1.3. L'analyse d'EKRA sur les attentes des associations en matière de long terme

En janvier 2000, le groupe EKRA a rendu son rapport qui recommande la mise en œuvre d'un stockage de long terme contrôlé et la poursuite des investigations au Wellenberg, la première étape étant de creuser une galerie de sondage.

3.1.3.1. *Sûreté et réversibilité*

EKRA réaffirme la primauté de la sûreté et note qu'il existe de fortes divergences de vues sur la façon dont le stockage satisfait cette exigence. EKRA retient des arguments des organisations environnementales que le long terme est lié à de fortes incertitudes et nécessite la mise en place d'un suivi et d'un contrôle spécifiques. L'exercice de ce suivi suppose l'existence d'une institution sociale répondant à des critères forts d'indépendance, de long terme et de démocratie. Par ailleurs, l'avenir est autant porteur d'innovations que d'incertitudes. De ce point de vue, il peut être intéressant pour les générations futures d'avoir « la possibilité de gérer autrement les déchets stockés, de les stocker dans une nouvelle installation ou de les réutiliser (dans le cas des déchets de haute activité). » Cette possibilité doit néanmoins être mesurée à l'aune des charges

qu'elle fait peser sur les générations futures. En principe, chaque génération doit pouvoir faire usage des nouveaux savoirs sur les dispositifs de gestion et la réversibilité devrait être intégrée dans la mise en place d'une installation de gestion.

EKRA examine brièvement les différents concepts discutés en Suisse, leurs objectifs et leurs modalités de mise en œuvre.

Pour le long terme, EKRA recense trois concepts :

- L'entreposage illimité, associé à la notion de surveillance ou de « tutelle » (« guardianship ») ;
- L'entreposage contrôlé de long terme, introduit par les organisations environnementales suisses lors d'un forum de dialogue en 1998 ;
- Le stockage géologique.

Le groupe EKRA recense également les commentaires qui ont été exprimés lors des auditions par les associations environnementales :

- *« Le terme "dispositif final" est troublant. "Final" renvoie à un abandon de responsabilité de la part des institutions actuellement en charge des déchets, pour l'avenir, et pas à une gestion des déchets sûre et permanente.*
- *L'objectif de l'entreposage à long terme devrait être atteint dans le cadre d'un entreposage à long terme contrôlé, en choisissant un concept approprié et dynamique. Les organisations environnementales n'ont pas déterminé si cette exigence peut être satisfaite par une installation géologique profonde ou une installation de surface. Cependant, elles ont sans équivoque pris de la distance avec le concept d'entreposage illimité.*
- *L'entreposage à long terme contrôlé devrait prévoir des mesures de suivi et une récupération aisée des déchets.*
- *Une installation de surface ou de sub-surface devrait rester parmi les possibilités. Cependant, elle devrait offrir le même niveau de stabilité qu'une*

installation géologique profonde. Même dans le cas d'une installation de surface, la maintenance ne devrait pas constituer une obligation de long terme.

- *L'entreposage de long terme contrôlé peut être une phase de transition vers le stockage. Cependant, ce dispositif ne devrait pas être considéré comme une simple étape d'attente : il requiert une nouvelle philosophie, qui permettrait le suivi de l'installation pendant des centaines ou des milliers d'années et la mise en place de structures capables de fonctionner sur de telles périodes de temps. Il n'existe actuellement aucune proposition concrète quant à la période de transition.*
- *Le problème principal vient du fait que la réversibilité, élément essentiel de l'entreposage à long terme contrôlé, n'est pas conciliable avec le stockage final.*

Les organisations environnementales considèrent qu'il n'est pas de leur responsabilité de définir en détails le concept d'entreposage de long terme contrôlé. Elles attendent d'EKRA qu'il montre de quelle manière ce concept peut atteindre un niveau de développement équivalent au stockage. »

EKRA note que ces demandes contiennent des contradictions importantes. Les organisations environnementales rejettent la notion de surveillance permanente associée à l'entreposage illimité, alors que l'entreposage de long terme contrôlé repose sur un mécanisme sensiblement similaire. Elles rejettent également le stockage. Afin de clarifier le débat, EKRA énonce plusieurs conditions qui doivent permettre de distinguer le concept d'entreposage de long terme contrôlé de celui d'entreposage illimité :

- L'entreposage contrôlé de long terme n'est pas lié à une obligation permanente de maintenance : la zone de stockage doit être remblayée dans les premières étapes, le suivi portant pour l'essentiel sur l'évolution et l'intégrité de l'installation ;
- La réversibilité doit pouvoir être mise en oeuvre facilement aussi longtemps que les générations futures la trouveront nécessaire ;

- Cette solution reste une étape de transition. La sûreté de long terme passe par la possibilité de transformer à tout moment l'installation en stockage final sans coût ou effort excessif.

3.1.3.2. *Le concept de stockage contrôlé de long terme*

De son côté, l'opérateur a modifié son concept de stockage. Suite au vote négatif de 1995, de nombreuses analyses ont été menées pour comprendre les raisons de cet échec. Il est apparu que la sûreté du projet n'était pas mise en doute à ce stade, mais que le modèle de stockage et le processus de sélection du site devaient être revus en profondeur. Des demandes explicites ont été faites sur la possibilité de contrôler et si nécessaire retirer les déchets. Le nouveau concept de l'opérateur proposé en 1998 permet de garder la galerie ouverte jusqu'à 100 ans. Pendant cette période, les déchets peuvent être facilement suivis et retirés sans remettre en cause la sûreté.

EKRA note que les idées avancées par les associations de protection de l'environnement témoignent d'une demande sociale forte en faveur du principe de réversibilité et développe un concept spécifique pour répondre à cette exigence : le stockage contrôlé pour le long terme (*monitored long-term geological disposal*) qui combine le stockage avec une possibilité de réversibilité.

Le concept avancé par EKRA comporte trois installations :

- L'installation test est un laboratoire souterrain pour qualifier le site ;
- L'installation principale, soumise aux mêmes exigences de sûreté (qualité de la roche, hydrogéologie, architecture...) qu'un stockage. Les galeries sont fermées et remblayées après installation des déchets sauf pour les tunnels d'accès et de contrôle qui restent ouverts lors de la phase d'exploitation et de suivi ;
- L'installation pilote assure le suivi à plus long terme des barrières naturelles et des ouvrages, vérifie la pertinence des modèles prédictifs utilisés pour la démonstration de la sûreté sur le long terme et permet le contrôle du site après fermeture de l'installation principale.

Cette solution a l'avantage pour le groupe de présenter d'emblée des garanties de sûreté à long terme (stockage), mais de laisser le choix ouvert (suivi, contrôle et possibilité de réversibilité).

En matière de sûreté, le concept de stockage contrôlé repose sur des barrières naturelles et ouvragées comme un stockage « classique ». La différence se fait dans les actions de sûreté. L'installation pilote donne la possibilité de mesurer des paramètres clefs pendant plusieurs décennies : température du stockage, pression, circulation d'eau, émissions. Lorsque l'installation principale est fermée, l'installation pilote permet de mener un suivi et un contrôle de manière plus durable. Les mesures permettent de vérifier les barrières naturelles et ouvragées, d'effectuer des réparations ou des améliorations dans les ouvrages, d'intervenir dans le cas de fuites radioactives dans le champ proche et de décider de retirer les déchets de l'installation pilote ou de l'installation principale. A terme, lorsque la fermeture de l'installation pilote est décidée, le suivi se limite à l'environnement du site.

3.1.4. Les suites du groupe EKRA

Après la publication du rapport du groupe EKRA, le gouvernement du canton de Nidwald a décidé de poursuivre le projet au Wellenberg. Le canton a posé plusieurs conditions préalables à l'octroi de la concession minière, à savoir :

- La restriction de la concession à la construction d'une galerie de sondage ;
- La formulation de critères d'exclusion clairs concernant les résultats du sondage, entraînant soit la poursuite, soit l'abandon du projet ;
- L'adaptation du projet au concept de stockage à long terme contrôlé, conformément aux recommandations du groupe EKRA ;
- La définition claire des catégories de déchets prévues pour l'emménagement (avec une spécialisation du site dans les déchets à vie courte).

En juin 2000, le canton nomme un groupe d'experts (KFW) pour surveiller les travaux de l'opérateur et s'assurer que celui-ci respecte les conditions posées par le gouvernement, en exerçant un contrôle sur le terrain pendant la construction de la galerie. KFW s'est entretenu à plusieurs reprises avec les parties concernées et a

examiné le projet, totalement refondu, de GNW. KFW a rédigé un rapport sur la procédure de choix du site et présenté une série de propositions pour améliorer le processus, allant de la séparation claire des rôles des acteurs impliqués aux questions de financement, en passant par la transparence, la traçabilité des discussions, la formulation de critères clairs, les possibilités de contrôle et de récupération ou l'approche par étapes. Il a également insisté sur la nécessité de prévoir une solution de repli en cas d'échec du processus.

En septembre 2002, un second vote a eu lieu. Le résultat négatif a abouti à un abandon du site de Wellenberg et à la recherche de nouvelles pistes d'action dans le cadre de la loi sur l'énergie nucléaire, votée en 2003. L'Office Fédéral de l'Energie note que le rejet de 2002 n'est pas attribuable au concept du stockage et retient les modifications apportées par le processus de dialogue qui s'est tenu de 1995 à 2002. Le projet de décret d'application de la loi reprend les conclusions du groupe EKRA et inscrit le système d' « installation pilote » dans le cahier des charges du stockage.

3.2. Attentes de parties prenantes en Allemagne

3.2.1. Contexte allemand

L'accord conclu en juin 2000 entre les producteurs d'électricité et le gouvernement fédéral pour sortir progressivement du nucléaire stipule que l'exploration du dôme de sel de Görleben pour y étudier la faisabilité d'un site de stockage doit être interrompue. Pendant le moratoire, il est prévu que les déchets soient entreposés sur site pendant que de nouvelles solutions de gestion des déchets sur le long terme sont à l'étude.

3.2.2. Le comité AkEnd

Dans cette perspective, le ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sûreté nucléaire (BMU) a créé un comité, AkEnd, chargé d'élaborer une nouvelle procédure de choix de site. Le mandat du comité est d'élaborer une procédure de sélection d'un site de stockage pour l'évacuation de tous types de déchets radioactifs

en Allemagne, celui-ci devant être opérationnel en 2030. Le principal objectif de la procédure est d'identifier les sites de stockage potentiels de façon exhaustive et fiable en s'appuyant sur des critères solidement fondés et une large participation du public. Le rôle du comité n'est pas de mettre en œuvre la procédure ni de sélectionner ou d'évaluer d'autres sites, ni d'appliquer les critères de sélection aux projets de stockage existants.

Le comité comprend 15 experts en géologie, sciences sociales, chimie, physique, mathématique, génie minier, technologie de gestion des déchets et relations publiques. Le mandat du comité est explicitement scientifique. Les membres ont été nommés de manière à constituer un comité pluraliste où sont représentées les diverses opinions sur la question du nucléaire en général et de la gestion des déchets en particulier. L'objectif reste néanmoins d'établir un consensus sur une procédure de sélection en se basant sur des critères scientifiques partagés.

Le Comité a informé largement le public sur ses travaux et sollicité les avis au travers de trois tables rondes et d'un dialogue avec les parlementaires, des associations, des représentants de l'église, des syndicats et autres parties prenantes. Ces consultations avaient pour objectif de mieux prendre en compte les attentes de ces acteurs en matière de participation dans le processus de décision, plus particulièrement dans la phase de sélection. L'exercice réalisé par AkEnd ne constitue pas une médiation ou une tentative de synthèse des attentes des parties prenantes, mais en réunissant des experts de différentes sensibilités, ouverts aux avis extérieurs, il s'agit clairement d'établir des critères scientifiques qui puissent être recevables par la plupart des parties prenantes concernées par la gestion des déchets nucléaires en Allemagne. De plus, le comité a d'emblée reconnu l'importance de la dimension sociétale de la gestion des déchets, et parallèlement aux aspects strictement techniques, il a travaillé de manière spécifique sur les questions de développement économique et social local et a tenté de les conceptualiser sous la forme de critères « socio-scientifiques ».

Le comité définit deux exigences fondamentales pour le processus de sélection :

- Une structure claire et transparente est indispensable pour que la progression, l'impartialité et l'objectivité de la procédure de sélection puissent être aisément vérifiées et que les décisions des différentes parties prenantes soient comprises par le grand public. AkEnd propose un modèle de processus de sélection en plusieurs étapes ;
- L'échelle et les critères d'évaluation associés à la procédure de sélection doivent être fixés à l'avance pour éviter que certaines décisions puissent être perçues par le public comme insuffisamment fondées, voire arbitraires. AkEnd fait une revue des critères essentiels à prendre en compte et indique de quelle manière ils doivent être intégrés dans le processus de sélection. Il identifie, en complément des critères de sûreté, des critères « socio-scientifiques ».

3.2.3. Les conclusions du Comité AkEnd sur le long terme

Le comité aborde la question du long terme au travers de deux aspects : les critères de sûreté et, de manière tout à fait nouvelle, les critères « socio-scientifiques » associés au potentiel de développement régional des communautés concernées.

3.2.3.1. *Les critères de sûreté*

En dépit de leurs divergences d'opinion sur la gestion des déchets, les membres du comité s'accordent sur deux objectifs essentiels pour la protection :

- Protéger sur le long terme l'homme et l'environnement des effets de substances dangereuses potentiellement rejetées par les colis ;
- Eviter d'imposer aux générations futures des charges et des engagements excessifs (pas de maintenance après fermeture du site).

Le comité estime donc que la sécurité sur le long terme doit être passive. De ce fait, il considère que la réversibilité est inadaptée, sauf si la situation particulière d'un site d'accueil la rend possible et nécessaire.

3.2.3.2. *Critères socio-scientifiques*

Le comité note que « la réalisation d'un stockage ne peut être menée à bien avec succès que si [le processus de sélection] prend en compte des critères socio-scientifiques ». Il ajoute que sans remettre en cause les principes de sûreté, ces critères sont tout aussi essentiels que les critères techniques de sûreté. En se penchant sur ces critères, AkEnd reconnaît officiellement leur importance et montre qu'il est possible de les considérer sans préjudice *a priori* pour la sûreté. Le comité ouvre ainsi une nouvelle voie de réflexion non seulement sur la dimension sociétale lors du processus de sélection, mais au-delà sur la prise en compte de la dimension territoriale du site pour sa gestion à long terme.

Sous critères « socio-scientifiques », AkEnd réunit deux types de facteurs. D'une part, en référence aux exemples suédois et finlandais, la volonté de la population de participer librement au processus de sélection. D'autre part, l'influence du stockage sur le développement régional qui doit être positive, ou en aucun cas être négative. C'est sur cette seconde question que le Comité a plus particulièrement travaillé.

Lorsque le processus de sélection commencera à se concentrer sur certaines zones géographiques, les perspectives de développement de ces régions seront évaluées. Il s'agira d'étudier les caractéristiques et les potentialités du territoire en termes de « structure mentale » (histoire et image de la région) et en termes de structure économique (investissements, emplois, valeurs immobilières).

Une analyse permettra d'évaluer si l'installation d'un stockage vient renforcer ou au contraire contrer les perspectives de développement de la région. Cette analyse serait confiée à des experts et soumise aux communautés concernées et à l'opérateur pour discussion.

3.2.3.3. *Développement régional et long terme*

Les critères « socio-scientifiques » sont d'abord destinés à intégrer dans le processus de sélection les aspects non techniques qu'ont tendance à évacuer les processus centrés sur la seule sûreté. Cette prise en compte a cependant une portée plus longue que la sélection : en proposant de se préoccuper du développement de la région, AkEnd pose la question du développement durable des territoires d'accueil. Il ne s'agit plus de trouver un accord pour accueillir un stockage à un moment présent, mais de réfléchir de quelle

manière ce stockage peut être intégré dans le développement d'un territoire existant, avec une histoire, une économie, un environnement social et naturel donnés, ou comment il peut être le support de nouveaux développements dans ce territoire.

Pour le Comité, les compensations offertes aux communautés locales sélectionnées ou présélectionnées ne permettent pas de répondre aux enjeux socio-économiques associés à l'implantation d'une installation de long terme. Il convient d'apporter des réponses appropriées en termes de développement régional sur la durée. Cela implique d'élaborer un plan de développement lors des premières phases de la procédure de sélection, en concertation avec les acteurs de la région concernée et de mettre en place des mécanismes au niveau national pour conforter la réalisation de ce plan au niveau local sur le moyen et long termes.

« Concernant les effets sur l'emploi et l'interdépendance économique avec la région, il semble raisonnable de poursuivre l'objectif stratégique d'employer les perspectives du stockage à une amélioration de la situation de l'emploi et des revenus de la région et un développement économique régional durable. Il est nécessaire d'inscrire la création d'emplois au bénéfice de la région et de créer des possibilités de travail complémentaires sur la base de l'implantation du stockage dans la région. A cet égard il est nécessaire de créer des effets de synergie et un environnement créatif et de développer une chaîne de valeur ajoutée ».

Le Comité énonce quelques principes qui doivent orienter le plan régional et son montage financier. Tout d'abord, les projets doivent résolument s'écarter d'une perspective de compensation à court terme : le financement du plan régional doit se construire sur des bases transparentes, légales et éthiquement responsables. L'assistance de ressources extérieures ne doit pas avoir d'autres objectifs que de soutenir les initiatives du territoire. En d'autres termes, elles doivent servir les logiques de développement propres à la région. Le Comité évoque un financement par les producteurs de déchets par le biais d'un fonds spécial, éventuellement complété de ressources octroyées par les *Länder*. A moyen terme, les ressources externes doivent s'effacer : le développement régional devrait être en mesure de s'auto-financer sur la base des projets initiés par les acteurs du territoire. Cet auto-financement est une des conditions essentielles et un facteur de réussite du développement durable du territoire.

En termes de processus, le potentiel de développement de la région doit faire l'objet d'une évaluation et d'une discussion avant que la population ne se prononce sur la

participation à l'étape d'exploration en surface. Si l'étape d'exploration est confirmée, les projets de développement devraient faire l'objet d'une réflexion plus poussée et des projets pilotes pourraient ensuite être initiés lors de la phase d'investigation géologique. Le plan de développement entrerait en phase de réalisation complète lors de la construction du stockage.

Pour illustrer la diversité des situations possibles et les innovations qui pourraient accompagner un stockage, le Comité présente trois scénarios de développement : en zone rurale (A), dans une région industrielle (B), enfin dans une zone urbaine (C).

Dans le premier scénario, le développement s'oriente vers des activités de tourisme. Le centre de stockage devient un lieu d'exposition, d'information et de recherche sur les nouveaux enjeux du long terme que soulèvent les déchets nucléaires et sur la responsabilité des générations présentes envers les générations futures. Les activités d'exposition et d'information pourraient prendre la forme d'une reproduction des galeries souterraines, voire même se décliner en parc à thèmes. Les activités de recherche favoriseraient une approche pluri-disciplinaire sur les enjeux techniques et sociaux du long terme.

Le scénario B propose de tirer profit du contexte historique, économique et écologique de la région pour développer des compétences dans le domaine des technologies de l'environnement (technologies de gestion des déchets innovantes sur le plan environnemental, démantèlement des centrales nucléaires...) et de la reconversion des friches industrielles. Ces compétences s'inscriraient dans des institutions d'enseignement et de recherche avec le souci de faire le lien avec le développement régional. Une alternative ou un projet complémentaire consisterait à mettre en place un « institut du stockage et de l'entreposage » avec des activités de recherche dans le domaine de la géologie et des technologies minières. Cet institut pourrait ouvrir un volet de recherches spécifique sur la réversibilité. Ses activités pourraient être coordonnées dans le cadre d'une coopération avec un réseau d'organisations étrangères homologues.

Dans le scénario urbain (C), la région se caractérise par une concentration de services, d'activités culturelles et de recherche. Elle offre un contexte idéal pour développer des réflexions et des compétences sur les relations entre société de l'information, évaluation des risques et résolution de problèmes. Un centre du savoir pourrait travailler sur les liens entre savoir, technologie et société, en posant le questionnement sur la finalité du savoir comme un des facteurs essentiels de l'innovation dans nos sociétés. Ce centre

proposerait des activités sur le thème de la conservation de la mémoire et des changements sociaux. Un institut de recherche appliquée sur les risques et les conflits pourrait être créé en parallèle avec d'importantes perspectives de travail sur la prise en compte du long terme et les approches intégrées de développement durable. Cet institut offrirait une base de données et des services aux organisations et particuliers, notamment pour faciliter le dialogue entre politique, économie, sciences et citoyens. En prolongement, cet institut pourrait servir de support à des activités culturelles (théâtre, concerts, expositions...).

Tous ces scénarios sont centrés sur les intérêts communs aux acteurs du territoire et sur les potentialités de développement économique et intellectuel qui peuvent naître de l'inscription du stockage dans une histoire territoriale. Dans les scénarios proposés, le stockage est considéré comme un objet inédit pour le territoire, mais ne créant pas de déséquilibre dès lors qu'il s'accorde avec une histoire existante (scénario B de la région industrielle), ou qu'il offre des perspectives de développement en créant des synergies avec des potentialités latentes dans le territoire (scénario A rural avec des possibilités de développement touristique).

3.3. Attentes de parties prenantes en France

L'analyse présentée ci-dessous rend compte des attentes de quelques parties prenantes telles qu'elles ont pu s'exprimer dans les débats qui jalonnent l'avancée des recherches dans le cadre de la loi de 1991. On notera que cette analyse s'appuie sur les débats ayant eu lieu jusqu'en 2004 et n'intègre pas les réflexions en cours, notamment dans le cadre du débat public sur la gestion des déchets radioactifs. Cette présentation a puisé en premier lieu dans les discussions des membres du Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS) du laboratoire souterrain de Bure avec les acteurs de la loi de 1991 :

- Présentations du rapport annuel de la Commission Nationale d'Evaluation (CNE) devant l'assemblée plénière du CLIS (2000-2004),
- Colloque sur la réversibilité organisé par le CLIS (2001),
- Etude de cas sur Bure (COWAM, Verdun, 2002).

3.3.1. Contexte

Le contexte présent est déterminant dans la façon dont les acteurs français envisagent le cadre temporel du stockage. En l'absence d'autre laboratoire, le débat s'est progressivement centré sur le site de Bure. Le CLIS joue un rôle majeur dans ce débat, en relayant les attentes de ses membres auprès des acteurs de la loi, et des autorités nationales.

Le CLIS a été créé en 1999 dans le cadre de la loi « Bataille » de 1991. Sa mission consiste à informer ses membres et la population locale sur les activités du laboratoire souterrain de Bure, les recherches qui y sont menées et les résultats. Le CLIS est présidé par le Préfet de la Meuse. Outre les membres de droit (Préfectures, DRIRE, Chambre d'Industrie, Chambre d'Agriculture et Chambre des Métiers des deux départements), le CLIS réunit les maires, conseillers généraux et régionaux des collectivités concernées, ainsi que des représentants des associations et syndicats. Le CLIS est composé de 93 membres. Son bureau compte 16 membres. Il représente les différentes sensibilités sur la question des déchets et du laboratoire. Au-delà de l'information, le CLIS définit comme un de ses axes de travail le suivi des recherches menées par l'ANDRA, et le recueil de données (environnementales, épidémiologiques...) qui pourraient servir de références dans l'avenir.

La question du long terme est présente depuis les premières discussions sur l'implantation du laboratoire en Meuse-Haute Marne. Dans la Meuse, les membres du Conseil général ont voté à l'unanimité en faveur de la candidature des municipalités du département en 1993, avec une réserve importante : le stockage, s'il était décidé, devrait être réversible.

3.3.2. Questions et attentes des acteurs meusiens et haut marnais sur le long terme

La loi Bataille introduit une référence à la réversibilité dans la dénomination de l'axe 2 (« étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains »). Par ailleurs le 2 février 1998, le Gouvernement a retenu dans sa politique nucléaire la logique de réversibilité pour le stockage, mais cette orientation n'a pas été confirmée par un texte de loi.

Depuis le milieu des années 1990, les commentaires et les interprétations se sont multipliés sur la notion de réversibilité et ont tenté de préciser son cadre d'application : concerne-t-elle les premières décennies à venir de la gestion des déchets, ou s'inscrit-elle dans un temps plus long ? On présente ci-dessous les principales questions et commentaires qui ont émergé à propos du long terme et de la réversibilité de la part des acteurs locaux et associatifs.

3.3.2.1. Temps et critères de sûreté

D'un point de vue strictement technique, une interrogation globale des acteurs concernés porte sur la capacité de l'expertise à intégrer les incertitudes liées au long terme. La modélisation est une réduction de la réalité incontournable et nécessaire. Cependant son exercice devient délicat lorsque sa pertinence ne peut pas être vérifiée en temps réel, ou dans un espace de temps à taille humaine.

« Pour ce qui concerne la modélisation, il y a également, et vous en faites état dans vos rapports, l'insuffisance actuelle des modèles d'évaluation de l'impact des radioéléments artificiels sur l'environnement. Cette insuffisance de modélisation ne s'applique que partiellement à la diffusion des radioéléments à partir de la matrice mais vous avez ajouté que l'insuffisance des modèles dont nous pouvons disposer actuellement est en revanche patente pour les transferts dans le champ lointain. »

(M. Gérard Hérisson, association ADECO, Réunion du CLIS du 19 octobre 2000, Présentation du 6^{ème} rapport de la Commission Nationale d'Evaluation, p. 15).

Ces questions traduisent de profondes interrogations sur la possibilité pour les experts de prédire les migrations de radionucléides sur des périodes de très longue durée, pour lesquelles un certain nombre de facteurs sont incertains, d'autant plus que la distance considérée est elle aussi de grande ampleur. Indirectement une question est posée sur la capacité de l'expertise à supporter un choix ou un autre devant un horizon de temps qu'il est difficile de maîtriser ou seulement d'appréhender.

« On nous parle notamment de modélisations, on fait des calculs pour ceci pour cela, et dans 10 000, 100 000 ans, il y aura tant de radioactivité, 0,25 sievert qui vont remonter à la surface ; permettez-nous de vous dire que cela nous choque énormément. Comment peut-on faire une modélisation sur tout ce qui va se passer ? Ce qu'on ne dit pas au public, c'est que pour modéliser, on a pris une partie de ce qui peut arriver, intrusion humaine ou autre. Mais seulement les impondérables, ils sont où ? Vous allez me dire qu'ils sont rentrés aussi dans la modélisation, comment les fait-on ? »

(M. Michel Marie, CDR55, Réunion du CLIS du 15 janvier 2004, Présentation du 9^{ème} rapport de la Commission Nationale d'Evaluation, p. 13).

Par ailleurs, certains acteurs notent un décalage entre les scénarios de gestion des déchets qui portent sur des dizaines de milliers d'années, et la période d'activité de radioéléments qui se compte en millions d'années.

« An nom de quoi l'ANDRA tient-elle ce raisonnement : « après une période d'un million d'années de non-sismicité, on peut tabler qu'on est parti pour une période de 100 000 ans sans risque de séismes ? » Je ne comprends absolument pas ce raisonnement. Surtout, en plus, disons 100 000 ans, ce n'est rien quand on sait que le neptunium 237, c'est 2 millions 300 000 ans de période pour perdre la moitié de sa radioactivité. »

(M. Jean Franville, CDR55, Colloque La Réversibilité et ses limites, 30 mars 2001, Bar-le-Duc).

Ces remarques mettent en évidence la distance qu'il peut exister entre les attentes des acteurs concernés et les cadres temporels utilisés dans les critères d'évaluation des stockages de déchets radioactifs.

3.3.2.2. Temps de la décision et temps de la recherche

En écho à ces questions, plusieurs membres du CLIS notent qu'il existe d'ores et déjà une dissymétrie entre le temps de la décision qui semble très proche et le temps de la recherche. Comme le souligne le député Dosé, la recherche dans le domaine de la

gestion des déchets a déjà deux ou trois décennies, et l'expérience internationale semble montrer que plusieurs décennies encore seront nécessaires avant de passer à une phase de gestion opérationnelle.

« Je rappelle qu'en Belgique nous sommes à plus de trente ans de recherches. Je suis allé à Mol, ils viennent de rajouter dix ans. J'ai reçu la délégation suédoise qui aujourd'hui m'invite à aller en Suède. Les Suédois abandonnent le nucléaire, mais eux ils vont enfouir avec d'autres modalités que les nôtres, mais en attendant ils en ont pris pour presque quarante ans d'études. Voilà, vous ne serez pas étonnés que je sois un combattant, mais je crois que les choses changent, dans les mois prochains en particulier, pour faire sauter cette date de 2006 qui n'a pas de sens ».

(M. le Député François Dosé, Réunion du CLIS du 19 octobre 2000, Présentation du 6^{ème} rapport de la Commission Nationale d'Evaluation, p. 20).

Pour Pascal Wojcik de la CFDT, il y a là une contradiction forte : *« On dit réversibilité, on nous dit : il faudra plus de cent ans pour trouver la solution et en 2006, on devra dire oui ou on devra dire non.»* (Colloque La Réversibilité et ses limites, 30 mars 2001, Bar-le-Duc).

3.3.2.3. Des attentes en termes de réversibilité décisionnelle

Pour ces représentants de la Meuse et de la Haute-Marne, la différence entre le temps de la décision et celui de la recherche peut être réduite par le recours à la réversibilité et à des solutions graduées de type entreposage.

« On ne peut pas mettre sur le même plan des éléments de réflexion à plusieurs milliers d'années et d'autres qui sont à quelques décennies et en cela, ce que j'ai entendu sur le plan du fond, au niveau de la possibilité de reconditionner les déchets pour plusieurs centaines d'années est un élément très intéressant, parce que cela ouvre des perspectives. »

(M. le Sénateur Charles Guéné, Réunion du CLIS du 15 janvier 2004, Présentation du 9^{ème} rapport de la Commission Nationale d'Evaluation, p. 20).

Le principe de réversibilité soulève l'intérêt pour sa flexibilité, et sa capacité à progresser dans la décision, par étapes. Il permet de ne pas s'engager dans des choix irréversibles qui pourraient être remis en cause par les résultats de la recherche à moyen terme.

« Aujourd'hui en quelque sorte, nous savons que nous pouvons tenir la réversibilité huit siècles, neuf siècles, puisque nous savons piéger grâce aux moyens que nous avons mis sur le conditionnement, en gros huit ou neuf siècles. Si je dis une sottise, je n'ai aucun problème pour être mis en cause, je suis quelqu'un de très sincère et je veux apprendre en même temps que je questionne, mais je crois savoir cela. Donc si cela est, laissons les générations N + je ne sais combien prendre la décision, car si nous savons piéger sept-huit siècles, continuons à travailler, cela nous donne du temps. Si malheureusement, on ne sait rien faire d'autre que le piège rocheux, on a quand même maintenant le temps. Voilà ce que je souhaitais dire. »

(M. le Député François Dosé, Réunion du CLIS du 19 octobre 2000, Présentation du 6^{ème} rapport de la Commission Nationale d'Evaluation, p. 20).

Ces interrogations récurrentes expliquent que le CLIS ait éprouvé le besoin de consacrer un colloque à la réversibilité en 2001. Les questions et commentaires qui ont émergé au cours de cet événement font ressortir à la fois un attachement fort au principe de réversibilité en même temps que des inquiétudes sur son interprétation et sa mise en œuvre. Le colloque a montré qu'il était difficile de s'accorder sur une définition univoque. La notion introduite par la loi Bataille est laissée à la libre interprétation des acteurs : à quel contenu renvoie-t-elle, parle-t-on de réversibilité technique, de réversibilité de la décision ou des deux en même temps ; le cas échéant comment ces deux réversibilités se répondent-elles ?

Pour M. David Boilley de l'ACRO, qui observe la situation de Bure à partir de l'expérience du centre de stockage de la Manche, le sens premier de la réversibilité est de « *laisser la possibilité aux générations futures de faire mieux que nous* », soit en retirant les déchets pour les gérer autrement, soit en modifiant le stockage existant. La

motivation est de son point de vue la protection de l'homme et des générations futures, plus que l'intérêt énergétique, économique que représentent les déchets.

M. Jean Franville (représentant du CDR 55 au CLIS) souligne qu'il existe une opposition irréductible entre réversibilité et sécurité passive pour deux raisons au moins : de son point de vue, la sécurité passive privilégie une approche en termes de coût et s'accommode mal des charges de maintenance qu'entraîne la réversibilité ; d'autre part, le stockage implique dans sa conception même la fermeture et impose de fait un terme à la réversibilité, qui ne peut être que transitoire. M. Dosé remarque que la sécurité passive est insuffisante : confier les déchets à la roche ne justifie pas en soi la passivité ; sur l'exemple des commissions de sécurité ou des contrôles techniques, on peut envisager des phases de passivité et des étapes de veille ponctuelle qui permettent de vérifier la conformité.

Pour ces commentateurs, en étant intégrée au concept de stockage existant, la réversibilité risque de perdre sa dimension politique décisionnelle et de se trouver *a priori* limitée dans le temps. Les uns et les autres semblent reconnaître qu'il existe une réelle difficulté à faire vivre cette réversibilité décisionnelle, notamment face à l'inertie et au coût des choix technologiques. Pour le Député Dosé, la démocratie est en face d'une difficulté, voire d'une contradiction qu'il faut gérer en connaissance de cause : *« Nous sommes dans une société d'exigence technologique où l'expérimentation technologique coûte si cher que nous avons appris à en diluer le coût par un étalement sur des dizaines d'années. (...) Mais alors, cela veut dire que pendant le temps même de ma solidarité financière avec quelque chose qui est fait, je peux décider d'une nouvelle donne législative, ce qui est une contradiction incontestablement, et de plus, plus on avance, plus on a le sentiment que la société veut justement que les décideurs aient un temps de plus en plus raccourci pour faire en sorte que l'on soit bien sûr que les responsabilités tournent. »* Pour Jean-Marc Fleury (association des élus Meuse-Haute Marne contre l'enfouissement), cette contradiction est de nature à remettre en cause la sincérité même du concept de réversibilité : *« Il y a deux notions de réversibilité. Il y a la réversibilité technique. Celle-ci, tout le monde est d'accord pour dire qu'elle est sur une toute petite durée de temps, une durée d'une centaine d'années, allez, 300 ans*

maximum. C'est une évidence, tout le monde est d'accord là-dessus. Et que fait-on à côté de cela ? On se sert de cette réversibilité technique et très ténue dans le temps, par rapport à la durée de vie des déchets, c'est vraiment très peu de temps, et on se sert de cela pour faire croire qu'on offre la réversibilité et que cette solution [le stockage] est réversible. C'est inacceptable. »

Au travers de ces débats, on peut entrevoir deux visions du temps :

- L'une oppose le stockage et l'entreposage : du côté du stockage, le temps est binaire, la fermeture de l'installation fait basculer vers l'irréversible ; concernant l'entreposage, le temps est continu et la possibilité de changer d'orientation est maintenue. L'entreposage propose une réversibilité totale à la fois technique et décisionnelle.
- L'autre envisage entreposage et stockage dans une continuité : l'entreposage quelle que soit sa durée est amené à laisser place au stockage ; il s'agit alors de comprendre quand, comment, et pourquoi on passerait de la « phase d'entreposage » à celle de « stockage », et de définir le type de réversibilité et de contrôle que l'on maintient dans le stockage.

3.3.2.4. Long terme et développement

Encore timide, un autre questionnement se fait jour concernant le long terme au travers du développement du territoire. Les élus qui ont voté en faveur du laboratoire en 1993 partagent une amertume à l'égard des possibilités de développement qu'offre le laboratoire. Aujourd'hui, indépendamment de l'attitude positive ou négative à l'égard du site, il y a un intérêt à dépasser une approche économique en termes de compensation et à poser les bases d'un développement plus durable.

« Sans aller jusqu'à revendiquer la compensation d'un préjudice, bénéficier de quelques subsides pour rattraper les investissements qui n'ont pas été réalisés par la collectivité me semble la moindre des choses. (...) Ce laboratoire, avec la publicité faite par les opposants, donne une vision extrêmement négative de notre contrée. L'image de la

poubelle nucléaire commence à marquer les esprits, même bien au-delà de l'hexagone, avec le risque de ternir l'ensemble de nos productions locales. Les communes, les agriculteurs, les industriels du bois, le secteur du tourisme, de l'immobilier peuvent subir de graves préjudices à travers cette mauvaise image sans cesse véhiculée par les médias. L'action de communication du CLIS devra dans cette optique aussi s'intensifier pour assurer une information claire et objective.

Les activités scientifiques du laboratoire doivent aussi générer des retours dans l'économie locale. La proximité d'universités de haut niveau devrait permettre la création de micro entreprises exploitant les techniques nouvelles issues des recherches du laboratoire, les conventions d'aide à la création de ces entreprises en milieu rural seraient les bienvenues. Beaucoup de craintes et d'interrogations subsistent. Le laboratoire est une réalité, nous devons donc vivre avec, continuer à maintenir le dialogue avec ses acteurs dans une totale transparence, et faisons en sorte que cette implantation devienne un atout pour notre région. »

(M. Robert Fernbach, maire d'Houdelainville, Présentation de l'étude de cas sur Bure, COWAM, Verdun, 2002).

3.4. Conclusions du Projet COWAM sur la question du long terme (2003)

La première phase du projet COWAM s'est déroulée de septembre 2000 à septembre 2003. Il a réuni plus de deux cent acteurs de dix pays européens, dont une majorité d'acteurs locaux (élus, associations, syndicats professionnels...).

Son objectif était de :

- Renforcer la position des acteurs locaux par la mise en réseau, au plan européen, de différents contextes locaux, pays et cultures ;
- Recenser et examiner les différents processus de décision expérimentés en Europe au plan local tout en les replaçant dans leur contexte national ;
- Créer un espace d'échanges réciproques entre les acteurs locaux, les associations, les régulateurs et les opérateurs ;

- Promouvoir de nouvelles approches en matière de processus de décision au plan national en Europe, notamment en organisant des séminaires dans les communautés locales concernées par la gestion des déchets nucléaires ;
- Elaborer un document d'orientation exposant les points de vue des participants à la fin du projet COWAM afin d'identifier les aspects importants à décider en matière de gestion des déchets nucléaires et d'ouvrir la voie à une réflexion plus poussée et à de nouvelles actions dans le futur.

La question du long terme a été abordée d'une part, au travers des critères de sélection des sites et critères de sûreté, d'autre part, sous l'angle du développement durable. Un des groupes de recommandations de COWAM a ainsi noté « *L'implication des acteurs locaux repose sur deux conditions :*

- *La sûreté doit autant que possible être garantie ;*
- *Des possibilités de développement économique doivent être proposées et examinées. »*

3.4.1. Long terme et sûreté

Les participants au projet COWAM ont confirmé l'importance de la sûreté dans la gestion des déchets radioactifs. Il est primordial que les sites retenus conviennent aux exigences fondamentales dans ce domaine. Les considérations techniques doivent continuer à avoir un rôle central dans le processus de sélection. La question de l'équité entre les sites volontaires et les autres collectivités ne s'en est pas moins posée, ainsi que celle de l'équilibre entre recherche de sûreté et recherche d'acceptabilité dans le processus de décision. Quelle importance accorde-t-on aux critères autres que la sûreté dans le processus de décision ? Comment s'assurer que la sûreté est prise en compte avec suffisamment de rigueur quand les critères de sélection sont élargis à d'autres facteurs que la seule sûreté ? Les acteurs engagés ont-ils la possibilité de discuter de l'importance relative de la sûreté et des autres critères dans la décision ? Cette discussion a amené également à débattre des critères de sûreté eux-mêmes. On s'accorde à penser que les critères de sélection doivent être scientifiquement fondés. Mais qui doit être chargé de produire ces critères ? L'opérateur peut-il être l'unique responsable de la définition de ces critères ? Quels divers éléments doit prendre en compte l'analyse préalable à la définition de ces critères ?

Dès lors la réflexion a porté sur la manière d'intégrer dans le processus de décision les attentes et les points de vue des acteurs locaux. Les débats ont mis en évidence une crainte que la prise en compte des aspects sociaux et politiques remette en cause la sûreté. Pour les acteurs locaux, il est important d'affirmer qu'au contraire leur implication doit être un moyen de renforcer la sûreté. Les responsabilités des acteurs, notamment celles des décideurs, doivent être respectées. De la même manière, il ne s'agit pas de remettre en question la compétence des experts. En exerçant un rôle critique de revue, les communautés locales peuvent notamment contribuer à faire expliciter les critères de sûreté, et veiller à ce qu'ils soient examinés en prenant en compte la situation spécifique de leur territoire. Ce rôle est à exercer à la fois au niveau national et au niveau local. Au niveau national, les acteurs locaux souhaitent contribuer à la définition et à la revue de la politique nationale de gestion des déchets, en s'assurant que les préoccupations de long terme et de sûreté sont bien prises en compte. Au niveau local, ils peuvent vérifier que les critères sont effectivement appliqués, et soulever des questions qui n'auraient pas été anticipées au niveau national.

Parmi les recommandations formulées par les participants, on note que « *l'objectif principal de l'acquisition de connaissances par les acteurs locaux dans ce contexte doit être de renforcer et d'améliorer la sûreté à long terme du système de stockage et de réduire les incertitudes relatives.* »

3.4.2. Long terme et développement durable

La compensation a été le sujet de nombreuses discussions dans le cadre de COWAM. Les avis ont été divergents sur la pertinence de ce type de mesure. Pour certains, cette pratique s'apparente à une « corruption » ou à une prime de risque liée à des activités dangereuses et nuisibles. De ce point de vue, il est affirmé qu'aucun compromis n'est acceptable en matière de sûreté : aucun paiement ne peut justifier l'implantation d'une installation conduisant à l'exposition de la population à un risque supérieur au seuil de tolérance en la matière. Les installations doivent être sûres et ne constituer aucun danger.

Pour d'autres la compensation peut être considérée comme une aide nationale légitime accordée aux territoires locaux accueillant des installations de gestion des déchets nucléaires au titre de leur développement. Lorsqu'une communauté accepte d'accueillir une installation, le service qu'elle rend ainsi à la communauté nationale dans son ensemble est appréciable et mérite rémunération. Ce type de financement est courant

dans d'autres domaines, comme la production hydroélectrique ou l'exploitation minière. De plus, l'implantation d'installations de gestion des déchets nucléaires peut être source de nuisances concrètes pour la communauté d'accueil. Ainsi, la phase de construction engendre une augmentation de la circulation routière et du bruit, ou bien l'implantation du site industriel risque de défigurer des paysages. De telles circonstances peuvent justifier l'octroi de financements.

En tout état de cause, la compensation a été le point de départ d'un constat sur le déficit d'une vision de long terme pour les territoires d'accueil de sites de gestion des déchets. Le fait d'accueillir des installations de gestion des déchets nucléaires ne doit pas se transformer en handicap : l'économie locale ne devrait pas avoir à pâtir du fait que la compensation puisse être perçue par les investisseurs potentiels comme un indice de risques. A l'inverse, une communauté abritant un site risquerait de se retrouver en situation de dépendance si elle asseyait entièrement son développement sur les ressources liées aux installations. Il convient donc de se donner les moyens d'inscrire le site dans un projet de développement local plus large.

En outre, comme l'a montré le travail mené par le groupe AkEnd sur la procédure de choix de site en Allemagne, la manière dont le projet s'inscrit dans un projet socio-économique régional plus large destiné à bénéficier à la communauté locale revêt une importance capitale lorsqu'il s'agit de choisir le site d'implantation d'installations de gestion de déchets nucléaires. En effet, la gestion des déchets nucléaires se caractérise par son inscription dans le long terme et par ses aléas, au gré des évolutions techniques, environnementales, économiques, sociales et politiques. De nouvelles mesures d'accompagnement doivent être définies pour renforcer et soutenir le développement à long terme de la communauté d'accueil. De ce point de vue, la compensation, si elle était maintenue, constituerait un élément parmi d'autres d'un programme de développement global de portée plus générale visant à faciliter une meilleure insertion des installations dans le tissu économique local.

L'intégration et la mise en valeur du site dans le cadre d'une politique de développement régional proposant une vision à long terme pour la région sont considérées comme des éléments-clés pour l'amélioration de la politique de gestion des déchets nucléaires à court comme à plus long terme. L'établissement d'installations de gestion devrait être perçu localement comme un projet de nature à bénéficier à long terme au développement durable futur de la région toute entière. Il apparaît par conséquent nécessaire de consulter les acteurs locaux à propos de l'avenir de la région,

ces acteurs devant également être associés à la mise en place des installations de gestion et en contrôler l'évolution. Parmi les avis des participants de COWAM, on note qu'un projet régional positif serait un projet qui d'une part, satisfait les attentes de développement durable au niveau local et, d'autre part, offre un service adéquat à l'ensemble de la nation sur la question des déchets.

Concernant les aspects éthiques, les participants de COWAM recommandent de définir un cadre politique qui offre des garanties précises aux acteurs locaux. Ce cadre devrait être reconnu et accepté par tous les acteurs. Il devrait être fondé sur le principe du développement durable. Ceci impliquerait de tenir compte, entre autres :

- D'activités économiques alternatives ou complémentaires ;
- De la surveillance et de la sensibilisation à long terme des communautés d'accueil ;
- Des questions sociales, économiques, environnementales, juridiques et de santé publique ;
- Non seulement de la phase d'exploitation des installations mais aussi de leur surveillance à long terme ;
- De la nécessité de se ménager des possibilités d'action à l'avenir (récupérabilité des déchets dans le stockage, par exemple).

Une réflexion devrait être menée pour identifier de manière plus précise la forme que pourraient revêtir les contributions financières à chaque étape du projet.

4. CONCLUSION

Cette étude distingue deux conceptions différentes de la prise en compte du long terme et, plus généralement, de l'abord de la dimension temporelle du stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde.

La démarche de l'expert, en réponse le plus souvent à une demande réglementaire, vise à démontrer la sûreté sur le « long terme » du concept de stockage. Par « long terme », l'expert entend 10 000, 100 000 voire 1 000 000 années. Comment calculer alors la dose individuelle à un individu du groupe critique dont le comportement, le mode de vie, ne peuvent être prédits avec un certain degré de crédibilité au-delà d'une centaine d'années ? Dans le formalisme d'une telle démarche, l'existence d'un site de stockage est, de fait, l'une des hypothèses de base de la démonstration. Le scénario de l'étude de sûreté est figé (nature et conditionnement des déchets, architecture du stockage...), et l'expert se focalise sur l'évolution de la géosphère. Les problèmes du court et du moyen termes sont, de fait, évacués.

Or, le citoyen, lorsqu'il s'interroge sur le stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde, se projette bien souvent une, deux, voire trois générations en avant. Ses interrogations portent sur l'impact qu'aura l'installation et sa mise en exploitation sur ses enfants, ses petits-enfants ainsi que son environnement. Les questionnements concernent également le concept de réversibilité ou encore les moyens à mettre en œuvre pour assurer une surveillance continue et efficace sur le long terme, gage de la transmission intergénérationnelle de la mémoire de l'installation, de son contenu.

Dans de telles conditions, il apparaît souvent difficile d'établir un dialogue, un échange constructif entre l'expert et le citoyen lorsque se pose la question de la définition des modalités de gestion d'une installation de stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde. Si la démonstration technique de sûreté est reconnue par tout un chacun comme un préalable nécessaire à l'implantation d'une installation de stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde, la considération du long terme n'est pleinement abordée que si les thématiques concernant la surveillance, la mémoire et la solidarité intra et intergénérationnelle sont soulevées.

REFERENCES

The Handling of Timescales in Assessing Post-closure Safety of Deep Geological Repositories, Workshop Proceedings, Paris, 16-18 April 2002.

Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste, ICRP PUBLICATION 77, May 1997.

Radiation Protection Recommendations as applied to the Disposal of long-lived Radioactive Waste, ICRP PUBLICATION 81, September 1999.

Safety Indicators in different Time Frames for the Safety Assessment of Underground Radioactive Waste Repositories, IAEA, TECDOC-767, 1994.

Safety Indicators for the Safety Assessment of Radioactive Waste Disposal, IAEA, TECDOC-1372, 2003.

Disposal concepts for radioactive waste, Final Report of the Expert Group on Disposal Concepts for Radioactive Waste (EKRA) on behalf of the Swiss Federal Department for the Environment, Transport, Energy and Communication. Federal Office of Energy, Bern, 2000, 51, 55.

Recommendations of the AkEnd Committee on a Site Selection Procedure for Repository Sites, December 2002. <http://www.akend.de>

Le 6^e rapport de la Commission Nationale d'Evaluation, Réunion du 19 octobre 2000, Comité Local d'Information et de Suivi, Bar-le-Duc. <http://www.clis-bure.com>

La Réversibilité et ses limites, Colloque du Comité Local d'Information et de Suivi, Bar-le-Duc, 30 mars 2001. <http://www.clis-bure.com>

Séminaire COWAM, Verdun, 28 février - 1^{er} mars 2002. <http://www.clis-bure.com>

Le 8^e rapport de la Commission Nationale d'Evaluation, Comité Local d'Information et de Suivi, le 12 novembre 2002, Bar-le-Duc. <http://www.clis-bure.com>

Le 9^{ème} rapport de la Commission Nationale d'Evaluation, Comité Local d'Information et de Suivi, le 15 janvier 2004, Bar-le-Duc. <http://www.clis-bure.com>

COWAM Network : Nuclear waste management from a local perspective: Reflections for a Better Governance, Final report, November 2003. <http://www.cowam.com>

ANNEXE : SYNTHÈSE DES INDICATEURS UTILISÉS POUR L'ÉVALUATION DE SÛRETÉ D'UN STOCKAGE GÉOLOGIQUE DE DÉCHETS HAVL

Tableau 9. Indicateurs de sûreté présentant un intérêt pour l'évaluation de sûreté d'une installation de stockage de déchets de haute activité

Indicateur de sûreté traditionnels	Source	Champ d'application	Référence envisageable
Risque	Résultats de l'étude de performance du système	Homme	Contrainte ou limite de risque
Dose	Résultats de l'étude de performance du système	Homme	Contrainte ou limite de dose
Impacts environnementaux	Résultats de l'étude de performance du système	Autres espèces	Normes de protection de l'environnement
Indicateurs de sûreté complémentaire	Source	Champ d'application	Référence envisageable
Concentrations en radionucléides à l'extérieur du champ proche	Résultats de l'étude de performance du système	Environnement « accessible » à l'homme	Niveaux de concentration relevés dans l'environnement
Flux de radionucléides à l'extérieur du champ proche	Résultats de l'étude de performance du système	Environnement « accessible » à l'homme, interface géosphère-biosphère	Flux relevés dans l'environnement
Temps de confinement	Expérience, spécificités techniques, modélisation des processus de corrosion et de diffusion	Conteneur, barrières ouvragées, géosphère	« Dates de référence »
Indicateur de performance	Source	Champ d'application	Référence envisageable
Temps de transfert des radionucléides	Evaluations quantitatives portant sur l'ensemble du système ou certains sous-systèmes	Barrières ouvragées ou géosphère	Période des radionucléides
Concentrations en radionucléides dans le champ proche	Résultats de la modélisation de l'évolution du système	Barrières ouvragées	Critères relatifs à l'analyse de sensibilité du système
Flux de radionucléides dans le champ proche	Résultats de la modélisation de l'évolution du système	Barrières ouvragées	Critères relatifs à l'analyse de sensibilité du système
Critères qui contrôlent la diffusion spatio-temporelle (par exemple vitesse de décomposition de la matrice vitreuse)	Expérience, spécificités techniques, modélisation des processus de diffusion	Barrières ouvragées ou géosphère	Critères dérivant des calculs de performance du système
Age des eaux souterraines	Paléohydrogéologie, caractérisation du site	Géosphère	Echelle de temps considérée dans l'évaluation
Autres propriétés physico-chimiques (par exemple densité des matériaux utilisés pour la barrière ouvragée)	Expérience, spécificités techniques, modélisation des processus de diffusion	Barrières ouvragées ou géosphère	Critère développé par les autorités de sûreté ou par l'opérateur