

# Modèles de gestion des déchets radioactifs

## Rapport final

Walter WILDI (président)

Detlef APPEL

Marcos BUSER

François DERMANGE

Anne ECKHARDT

Peter HUFSCHMIED

Hans-Rudolf KEUSEN

Michael AEBERSOLD (secrétariat)

Pour le compte du Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)

31 janvier 2000

Distribution : Office fédéral de l'énergie, 3003 Berne

© On peut citer ou reproduire des extraits du rapport, à condition d'en indiquer la source

(Information : [wildi@sc2a.unige.ch](mailto:wildi@sc2a.unige.ch), [michael.aebersold@bfe.admin.ch](mailto:michael.aebersold@bfe.admin.ch))



---

## Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>1</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>7</b>
1.1 Gestion des déchets radioactifs en Suisse : toile de fond du présent rapport	7
1.2 Mandat du groupe d'experts	9
1.3 Mode de travail et composition du groupe d'experts	9
<b>2. Evolution et état actuel des programmes de gestion des déchets radioactifs</b>	<b>11</b>
2.1 Historique des programmes de gestion	11
2.2 Evacuation des déchets radioactifs à l'étranger	14
2.3 Le programme suisse de gestion des déchets radioactifs	21
<b>3. Les attentes sociales sur le stockage des déchets nucléaires et leurs conséquences</b>	<b>24</b>
3.1 Décisions sociales et fonctions d'une expertise	24
3.2 Critères de jugement	27
3.3 Principes à prendre en compte dans la conception du dépôt	29
3.4 Le principe pollueur/payeur	32
<b>4. Eléments de base du " modèle suisse de gestion des déchets radioactifs "</b>	<b>34</b>
4.1 Inventaire des déchets	34
4.2 Modèles de dépôts	36
4.3 Système de sécurité	41
4.4 Phases de stockage	49
<b>5. Modèle du stockage géologique durable contrôlé (KGL)</b>	<b>53</b>
5.1 Conception technique	53
5.2 Mise en application possible	55
5.3 Planification des mesures	58
<b>6. Evaluation des modèles de stockage</b>	<b>59</b>
6.1 Bases de l'évaluation	60
6.2 Evaluation de la sécurité	63
6.3 Evaluation comparative globale	70
<b>7. Conclusions et recommandations</b>	<b>72</b>
7.1 Conclusions	72
7.2 La position du groupe EKRA par rapport au mandat	74
7.3 Recommandations	76
<b>Bibliographie</b>	<b>78</b>
Annexe 1 : Définitions	83
Annexe 2 : Abréviations	86
Annexe 3: Gestion des déchets nucléaires en Suisse : dates importantes	87
Annexe 4 : Lois, ordonnances et directives relatives à l'élimination des déchets radioactifs	89



## Résumé

### Mandat

En 1998, le groupe de travail “ Dialogue sur la gestion des déchets radioactifs ”, institué par Monsieur Moritz Leuenberger, Conseiller fédéral, chef du Département fédéral de l’environnement, des transports, de l’énergie et de la communication (DETEC), s’est penché sur un certain nombre de questions fondamentales ayant trait à la gestion des déchets nucléaires. Le rapport final, élaboré en fin d’année par le président, contenait des propositions quant à la manière de concilier les positions antagonistes des exploitants de centrales nucléaires et des organisations écologistes. Il proposait notamment d’approfondir le modèle de l’“ entreposage durable, contrôlé et récupérable ”. Après l’échec des entretiens début de 1999 entre le Conseil fédéral, les cantons de site, plusieurs organisations écologistes et les exploitants des centrales nucléaires, le chef du DETEC a institué, en juin 1999, un nouveau groupe d’experts pour les modèles de gestion des déchets radioactifs (ci après EKRA).

Dans le cadre de son mandat, l’EKRA a posé les bases d’une comparaison des différents modèles de gestion des déchets radioactifs et développé un modèle original de stockage géologique durable contrôlé (KGL), qu’il a comparé au stockage final (EL), au stockage intermédiaire (ZL) et au stockage durable (DL). Les aspects suivants ont été mis au premier plan :

- la sécurité active et passive
- la surveillance et le contrôle
- la possibilité de récupération

Le rapport ci-dessous présente les résultats de ces délibérations.

### Modèles de stockage et programmes de gestion des déchets

Le *rayonnement ionisant* provoque des dommages chez tous les êtres vivants, notamment par des modifications génétiques et des cancers. Pour l’éviter, on confine les déchets radioactifs.

Presque tous les modèles de gestion de déchets radioactifs provenant de l’utilisation civile de la fission nucléaire ont été esquissés très tôt, essen-

tiellement dans les années 50. Le stockage géologique final dans des formations géologiques profondes de la croûte terrestre continentale (GEL) a alors été privilégié sur les autres modèles partout dans le monde. Ce choix a cependant été contesté. Des doutes ont été émis quant à la sécurité à long terme d'un tel mode de stockage, suspectant les moyens et les méthodes actuelles de ne pas garantir suffisamment la sécurité. En réponse, plusieurs Etats ont étudié depuis quelques années et parfois appliquent, des stratégies et des modèles de gestion qui prévoient la surveillance et le contrôle, ainsi qu'une récupération éventuelle plus aisée des déchets (principe de la réversibilité).

La Suisse poursuit aujourd'hui deux programmes de stockage final :

1. *Déchets faiblement à moyennement radioactifs, à demi-vie courte (SMA)*

En 1963, après une procédure d'évaluation, la Société coopérative nationale pour l'entreposage des déchets radioactifs (CEDRA) a proposé le site du Wellenberg pour un dépôt géologique final dans une roche d'accueil marneuse. Ce projet est toutefois bloqué depuis 1995 après un référendum dans le canton.

2. *Déchets hautement radioactifs et déchets moyennement actifs à demi-vie longue (HAA/LMA)*

La CEDRA cherche à établir la possibilité de réaliser un stockage final dans deux roches d'accueil potentielles, d'une part dans les roches cristallines en profondeur, et d'autre part dans l'argile à opalines du Nord de la Suisse, épaisse d'une centaine de mètres.

### **Procédure suivie par l'EKRA**

Dans le cadre de son mandat, l'EKRA s'est penché non seulement sur des questions techniques et scientifiques relatives à l'élimination sûre des déchets radioactifs – en tenant compte des impératifs d'un développement durable - mais aussi sur certains aspects sociaux. Par ordre d'importance, les valeurs et les objectifs ont été hiérarchisés de la manière suivante :

- la sécurité de l'homme et de l'environnement (priorité absolue) ;
- la possibilité pour toutes les générations concernées de garder une marge de manœuvre pour confirmer ou infirmer nos propres choix, et l'équité entre les couches, les groupes et les générations qui forment la population ;

- le respect du principe de la responsabilité causale (pollueur payeur) ;
- l'acceptation sociale.

Sur la base de ces critères, l'EKRA a formulé les conditions d'une sécurité du stockage des déchets radioactifs en Suisse. Elle y a joint la description des modèles de stockage en usage. C'est sur cette base qu'elle a développé un modèle original de "stockage géologique durable contrôlé" (KGL). Le KGL comporte les éléments opérationnels et techniques essentiels suivants : un dépôt test, le dépôt principal et un dépôt pilote. Le dépôt test doit établir définitivement que le lieu choisi convient bien. Il entre en activité avant le transfert des déchets dans le dépôt principal. Le dépôt principal reçoit la majeure partie des déchets. Le dépôt pilote reçoit une petite part des déchets, mais représentative, à titre d'échantillon pour le dépôt principal, qui y est placée jusqu'à la fin d'une période d'observation pour être surveillée et contrôlée. Un dépôt géologique durable contrôlé (KGL) peut ainsi être obturé en peu de temps et transformé en dépôt géologique final (GEL). Les exigences de sécurité d'un dépôt géologique durable contrôlé (KGL) quant au lieu d'implantation et à la roche d'accueil sont au moins égales à celles d'un dépôt géologique final (GEL).

Pour finir, il sera procédé à une comparaison de tous les modèles importants actuels de gestion des déchets nucléaires.

## Conclusions

L'évaluation des divers modèles de stockage conduit l'EKRA aux conclusions suivantes :

1. Les systèmes de sécurité des *dépôts intermédiaires* ne satisfont pas à l'objectif prioritaire de la sécurité à long terme.
2. Le *stockage des déchets en surface* et le *stockage durable en profondeur* qui doivent être surveillés, sont eux aussi incompatibles avec l'objectif de la sécurité à long terme.
3. Le *stockage géologique final* (GEL) est la seule méthode de gestion des déchets radioactifs qui corresponde aux exigences de sécurité à long terme (jusqu'à plus de 100'000 ans).
4. Les exigences de la société concernant le stockage des déchets sont axées sur le principe de la réversibilité. L'EKRA a donc développé le modèle du " *stockage géologique durable contrôlé* " (KGL), qui associe le stockage final et la possibilité d'une réversibilité.

5. En ce qui concerne la sécurité et la procédure du passage du stockage géologique durable contrôlé (KGL) au stockage géologique final ultérieur (GEL), certaines questions ouvertes demandent encore des éclaircissements.
6. Programmes de gestion des déchets radioactifs en Suisse :  
*Programme HAA/LMA* : l'argile à opalines, une roche d'accueil actuellement prospectée, se prête en principe aussi bien au GEL qu'au KGL.  
*Programme SMA* : la même constatation vaut pour la roche d'accueil du Wellenberg ; la caractérisation du site d'implantation doit toutefois être confirmée au moyen d'une galerie de sondage.

## Recommandations

Conformément à son mandat, l'EKRA recommande la démarche suivante :

- Encourager les débats publics sur la question de la gestion des déchets nucléaires.

### *A propos de la loi sur l'énergie nucléaire*

- b. Prévoir dans la loi sur l'énergie nucléaire le stockage géologique final (GEL) quel que soit le type de déchets. Dans le cadre des projets concrets en cours, définir la surveillance, le contrôle et la facilité de récupération, dans l'optique du modèle d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL).
- c. Assurer l'indépendance financière du programme de gestion des déchets radioactifs par rapport aux exploitants actuels des centrales nucléaires et prévoir les adaptations institutionnelles indispensables.

### *A propos du projet SMA du Wellenberg*

- d. Sur la base des connaissances actuelles, le site du Wellenberg paraît satisfaire aussi bien aux exigences d'un stockage géologique final (GEL) qu'à celles d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL). Il convient de poursuivre le programme au Wellenberg, pour lequel le modèle actuel de stockage (CEDRA 1998) peut servir de point de départ. Il faut en outre tester les possibilités d'implantation et de configuration d'un dépôt pilote (KGL). Auparavant, il faut préparer la réalisation d'une galerie de sondage au Wellenberg.

### *A propos du programme HAA/LMA*

- 
- e. L'argile à opalines, roche d'accueil actuellement prospectée, convient en principe aussi bien pour un stockage géologique final (GEL) que pour un stockage géologique durable contrôlé (KGL). Une fois achevé le descriptif de gestion des déchets radioactifs, il faut faire avancer la caractérisation du site de dépôt et entreprendre la planification du stockage et l'exploration du site. Des options de stockage à l'étranger ne constituent pas une alternative à la solution du problème en Suisse.

*A propos du calendrier de réalisation*

- f. Pour les deux projets, il convient de présenter un calendrier menant jusqu'à la réalisation des dépôts, et de vérifier régulièrement que celui-ci est respecté.



## 1. Introduction

Le chapitre 1 décrit le cadre dans lequel le groupe d'experts pour les modèles de gestion des déchets radioactifs (EKRA) a élaboré le présent rapport.

### 1.1 Gestion des déchets radioactifs en Suisse : toile de fond du présent rapport

Provenance des déchets

En Suisse, le premier réacteur nucléaire commercial, " Beznau 1 " a été mis en service en 1969. Aujourd'hui, cinq réacteurs sont exploités (figure 1). La majeure partie des déchets radioactifs provient de ces installations. D'autres déchets sont produits par la médecine, l'industrie et la recherche.

Centrale	Mise en service	Puissance en MW (état 1.12.1998)
Beznau I	1969	365
Beznau II	1971	357
Mühleberg	1971	355
Gösgen	1978	970
Leibstadt	1984	1145

Figure 1 : centrales nucléaires suisses

Premiers travaux de recherche

Les premiers travaux exploratoires d'un site de dépôt final des déchets radioactifs datent de la fin des années 60.

Projet " Garantie 1985 "

C'est en 1972 qu'a été fondée la Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs (CEDRA). En 1978, celle-ci établit un programme de travail baptisé " Projet Garantie 1985 " ayant pour but était d'établir qu'il existait une possibilité d'élimination des déchets radioactifs. En 1985, la CEDRA présenta les résultats de ce projet au Conseil fédéral.

Le 3 juin 1988, le Conseil fédéral en fit l'évaluation suivante (voir aussi CEDRA/NAGRA 1997) :

- Il jugea que le justificatif de l'élimination des déchets faiblement et moyennement radioactifs (SMA) était suffisant ;
- Il jugea que le justificatif de l'élimination des déchets hautement radioactifs (HAA) et des déchets à demi-vie longue issus du retraitement et contenant des émetteurs  $\alpha$ , était suffisant en ce qui concernait le justi-

ficatif de sécurité mais que le justificatif de site relatif à l'installation d'un dépôt final n'était pas encore établi ;

- Sous l'angle de la technique de construction, aucun obstacle ne s'opposait à la réalisation d'un dépôt final.

La CEDRA reçut du Conseil fédéral l'ordre de compléter ses investigations dans le sous-sol cristallin du Nord de la Suisse par un programme d'étude dans les roches sédimentaires.

#### Programme HAA

Le programme d'étude lancé en 1991 dans les roches sédimentaires d'argile à opalines du Nord de la Suisse (CEDRA/NAGRA 1994a), en particulier le forage d'essai réalisé parallèlement à la sismique tridimensionnelle près de Benken (canton de ZH ; 1999), a donné des résultats encourageants dans la perspective de la recherche d'un dépôt final pour HAA.

#### Programme SMA

Suite à un refus du peuple du canton de Nidwald en 1995, le Conseil fédéral a suspendu en 1997 la demande d'autorisation générale de réaliser un dépôt final pour SMA au Wellenberg. Le projet reste bloqué depuis lors. C'est pour y remédier que la Confédération et le canton de Nidwald ont créé un " groupe de travail technique " et un " groupe de travail économie publique ". Dans leurs rapports, ces deux groupes décrivent le cadre dans lequel le projet pourrait voir le jour ainsi que les aspects économiques liés au projet (TAG 1998, AGV 1998).

#### Dialogue sur la gestion des déchets radioactifs

La perspective d'une nouvelle loi sur l'énergie nucléaire (LENu) décida en 1998 la création d'un " Dialogue sur la gestion des déchets radioactifs " avec la mission de trouver des points d'accord entre les positions antagonistes sur les questions de principe essentielles. Dans son rapport final rédigé fin 1998 le président du Dialogue formula plusieurs propositions quant à la manière de concilier les positions des exploitants des centrales nucléaires et des organisations écologistes mais aucun accord ne fut trouvé (Ruh 1998).

#### Création du groupe EKRA

Suite à l'échec en 1999 des entretiens qui ont suivi entre les conseillers fédéraux Leuenberger et Couchepin, les cantons pressentis pour les sites de dépôt, les organisations écologistes et les exploitants des centrales nucléaires, on prit la décision de créer un nouveau groupe d'experts pour les modèles de gestion des déchets radioactifs (EKRA).

## 1.2 Mandat du groupe d'experts

Le Conseil fédéral Moritz Leuenberger, chef du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), confia alors au groupe d'experts le mandat suivant :

Le " groupe d'experts pour les modèles de gestion des déchets radioactifs " (EKRA) élabore des bases qui doivent permettre de comparer les différents modèles d'élimination des déchets radioactifs. Il étudie et compare en particulier le stockage géologique final, le stockage durable, ainsi que le stockage intermédiaire, sous les aspects suivants :

- sécurité active et passive,
- surveillance et contrôle,
- possibilité de récupération.

Dans un rapport qui analyse les questions techniques et sociales, le groupe d'experts présente une synthèse des résultats de son travail ainsi que ses conclusions et recommandations à l'attention du DETEC.

C'est pour répondre à cette mission que l'EKRA a développé un modèle original de stockage géologique durable contrôlé (KGL). L'EKRA évalue le stockage géologique durable contrôlé et le compare aux autres modèles de gestion des déchets radioactifs : stockage géologique final, stockage durable et stockage intermédiaire. L'EKRA propose enfin une esquisse de la démarche pour poursuivre, sous la forme d'un plan d'action.

## 1.3 Mode de travail et composition du groupe d'experts

Fil conducteur

L'EKRA prend acte du fait que c'est à la société de définir sous quelles conditions les déchets radioactifs doivent être gérés. Une telle position lui paraît conforme au plan d'action de la Confédération (plan d'action 1997) qui, au nom de considérations liées au développement durable, met au premier rang de ses préoccupations la sécurité radiologique des générations actuelle et futures.

Hearings

L'EKRA a siégé à sept reprises de juin à décembre 1999. Plusieurs auditions (hearings) ont permis d'entendre les représentants des autorités (Office fédéral de l'énergie, OFEN ; Division principale de la sécurité des installations nucléaires DSN), les organisations écologistes (Fondation suisse de

l'énergie, FSE ; Greenpeace, comité pour le droit de co-décision de la population nidwaldienne en matière d'installations nucléaires, MNA) ainsi que la CEDRA et la Coopérative pour la gestion des déchets radioactifs au Wellenberg (GNW).

Rédaction du rapport

Sur la base de ces auditions, des discussions du groupe et de la littérature existante, le rapport a été rédigé chapitre par chapitre par différents membres du groupe, puis le texte a été entièrement revu sur le fond et sur la forme. Les différents groupes auditionnés ont eu la possibilité de s'exprimer sur le texte intermédiaire par des avis, propositions de corrections ou de compléments ; cependant, l'EKRA est seul responsable du contenu de ce rapport.

Composition du groupe d'experts

*Président :*

Prof. Walter Wildi, Université de Genève, Commission fédérale de la sécurité des installations nucléaires (CSA) ; géologie

*Membres :*

Dr. Detlef Appel, PanGeo Hanovre ; géologie, déchets radioactifs

Dipl. nat. Marcos Buser, Buser & Finger Zurich ; sites contaminés, modèles d'évacuation

Prof. François Dermange, Université de Genève ; éthique

Dr. Anne Eckhardt, Basler & Hofmann, Zurich, CSA ; risques et sécurité

Dr. Peter Hufschmied, Emch + Berger, Berne ; hydrogéologie, modélisations

Dr. Hans-Rudolf Keusen, Geotest Zollikofen ; construction de tunnels, questions de stabilité

*Secrétariat :*

Dr. Michael Aebersold, Office fédéral de l'énergie

## 2. Evolution et état actuel des programmes de gestion des déchets radioactifs

*Le chapitre 2 retrace l'évolution qui a abouti aux programmes actuels de gestion des déchets radioactifs et décrit les pistes qui conduisent vers de nouvelles stratégies. Il présente la situation aussi bien suisse qu'internationale.*

### 2.1 Historique des programmes de gestion

Protection contre le rayonnement ionisant

Le rayonnement ionisant est à l'origine de graves dommages sur les organismes vivants, entraînant notamment des modifications génétiques et des cancers. Pour éviter un tel rayonnement, il est nécessaire de circonscrire le stockage et l'utilisation des déchets radioactifs à des endroits clos.

Gestion des déchets radioactifs

Le problème de la gestion des déchets radioactifs existe depuis que des substances radioactives sont utilisées en médecine, dans l'industrie ou la recherche. Il s'est amplifié à l'échelon planétaire depuis le début de l'utilisation de la fission nucléaire à des fins militaires dans les années 1940, puis considérablement aggravé avec les applications pacifiques de l'énergie nucléaire à partir des années 1950.

Stockage géologique final

Les problèmes biologiques, techniques et sociaux liés à la gestion des déchets radioactifs ont été sous-estimés dans les débuts de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. C'est progressivement qu'on en a pris conscience et qu'est née, dans de nombreux pays, une série de controverses, parfois extravagante avec le recul, sur les modèles de gestion des déchets radioactifs (figure 2). Dans ces débats, l'élimination des déchets hautement radioactifs (HAA)<sup>1</sup> occupait le devant de la scène alors que l'élimination des déchets faiblement et moyennement radioactifs (SAA, MAA) suscitait une discussion moindre.

Presque tous les modèles d'évacuation des déchets radioactifs ont été ébauchés à un stade très précoce de l'utilisation de la fission nucléaire, en général dans les années 1950. Le nombre des options envisageables s'est

---

<sup>1</sup> Par souci de simplification, on assimile aux HAA les barreaux de combustible usé quand bien même ils ne sont pas traités comme déchets dans la plupart des Etats. Il n'existe pas de définition précise des notions de "hautement, moyennement et faiblement radioactif", car les catégories correspondantes de déchets peuvent être différenciées en fonction des réglementations nationales sur leur évacuation.

réduit au fil des ans pour des raisons scientifiques et techniques, économiques et écologiques, mais aussi pour des raisons politiques.

C'est dans ce contexte que s'est imposée dans les institutions compétentes, vers le milieu des années 1960, l'idée du stockage final des déchets dans les formations géologiques profondes de la croûte terrestre continentale, notamment dans des mines. Le stockage géologique final (GEL) concernait alors au premier chef les déchets hautement et moyennement radioactifs (HAA et des MAA) ainsi que parfois dans quelques pays les déchets faiblement radioactifs (SAA).

A l'extérieur de ces institutions, le stockage géologique final a suscité dès cette époque plusieurs interrogations critiques, notamment en raison des considérations suivantes :

- la différence d'échelle temporelle entre le temps durant lequel les déchets présentent un danger pour l'homme et son environnement et les prévisions à long terme quant à l'efficacité des barrières sans lesquelles la sécurité permanente d'un dépôt final ne peut être assurée ;
- l'absence de possibilités d'intervention dans le système de stockage final en cas de défaillance ;
- l'irréversibilité du stockage final.

Modèles de stockage	Type/ matériau	Remarque	Auteur, année	Revue
HAA : fixation dans l'argile	En particulier la montmorillonite		Ginell et al., 1954	Nucleonics 12/12
HAA : vitrification et céramique		Vitrification proposée depuis 1951	Rodger, 1954	Nucl. Engineering 50/5
HAA et SMA : enfouissement dans des couches proches de la surface	Dump ou land-burial	Dans le cadre du modèle de cycle du combustible nucléaire	Goodman, 1949	Nucleonics 4/2
SMA (et HAA) : dilution	Ventilation de gaz et dérivation des liquides		Beers, 1949 Scott, 1950	Nucleonics 4/4 Nucleonics 6/1
HAA et SMA : compactage	Dans des forages ou des puits		Struxness et al. 1955	IAEA, Genève, P/554
SMA liquides : infiltration	Au moyen de bassins d'infiltration		Morton, 1952	NSA 6, 1212
Stockage géologique final	Sédiments (argile, sel), puis roches cristallines, tufs, etc.	Développement progressif des modèles	Theis, 1955 Warde et al., 1955	IAEA, Genève, P/564, J. of Metals, oct. 55
SMA : immersion dans la mer	Dumping	Après 1972, réglée par la Convention de Londres ; moratoire depuis 1985. Sera interdite dans le cadre de la Convention de Londres.	Claus, 1955	IAEA, Genève, P/848
HAA : Subseabed-Disposal	Stockage final dans des sédiments marins non consolidés et intacts	Poursuivi dès 1977 comme projet "sub seabed"	Evans J. E., 1952	NSA 8, 1954 : 4929
HAA : stockage final dans des zones de subduction	Dépôt final sous-marin dans la plaque océanique de subduction	Danger dû au volcanisme	Bostrom et al., 1970	Nature 228
HAA : stockage final dans des zones de fractures	Fosses marines		Bogorov et al., 1958	IAEA, Genève, P/2058
HAA : stockage final dans la glace	Dépôt final dans l'Antarctique	Fusion de déchets chauds (fonte de la glace)	Philbert, 1959	Atomkern-Energie, 4/3
HAA : autofusion dans le sous-sol profond	Deep Underground Melting	HAA liquides dans une caverne atomique artificielle	Cohn et al., 1972	Nuclear Technol., avril 1972
" Evacuation " dans le cosmos			Hollocher, 1975	MIT Press
Transmutation			Cecille et al., 1977 Hage W., 1978	IAEA, Vienne, 36/366 EUR-5897

Figure 2 : Modèles de stockage proposés depuis 1949 (complétés selon Buser 1998)

#### Autres modèles de stockage

Dès le début des années 1970, plusieurs nouveaux modèles de stockage ont été proposés dans le débat sur la gestion des déchets radioactifs (IAEA 1971, Buser & Wildi 1981). La nécessité de surveiller les déchets et de pouvoir les récupérer a milité en faveur de modèles où le contrôle par l'homme prenait une place prépondérante (Hammond 1979, Roseboom 1983). Sans s'étendre sur les mouvements de types "mystiques" qui reprirent à leur compte cette idée vers la fin des années 1980, ce mouvement fut notamment illustré par le concept de gardiennage qui se donne pour premier principe la surveillance ("Nuclear Guardianship" ou "Hütekonzept" ; Kreuzer 1992, Buser 1997, 1998). Par la suite, d'autres versions ont été proposées par les organisations écologistes, avec le souci constant

de mieux prendre en compte des principes fondés sur l'éthique (Bär 1997, SES/Greenpeace 1998).

## 2.2 Evacuation des déchets radioactifs à l'étranger

Stockage géologique final des HAA

Si, aujourd'hui, la plupart des Etats prévoit de gérer les déchets civils hautement radioactifs ou moyennement radioactifs contenant des radionucléides à demi-vie longue dans des dépôts géologiques finaux, les déchets faiblement et moyennement radioactifs sont gérés de manière variable en fonction de leur potentiel de risque (rayonnement, production de chaleur, part de radionucléides à demi-vie longue) et des standards de sécurité nationaux en vigueur.

Interdiction du dumping

L'immersion des déchets en mer n'est plus envisagée par quiconque. Un moratoire a été instauré dans la suite de la Convention de Londres sur la protection des mers de 1972 et de ses amendements. Un protocole additionnel doit interdire l'immersion future de déchets radioactifs qu'ils soient solides ou liquides. Pour les déchets contenant essentiellement des radionucléides à demi-vie courte (dans certains pays : demi-vie <30 ans), la solution aujourd'hui la plus répandue reste le stockage final, relativement peu coûteux, dans des installations techniquement plus ou moins complexes et proches de la surface.

Stockage géologique final des SAA et des MAA

A Cuba, en Finlande, en Norvège, en Suède, en Suisse et en Tchéquie (HAN et al. 1997), on stocke ou prévoit de stocker les déchets faiblement et moyennement radioactifs (SMA) comportant de grandes proportions de radionucléides à demi-vie courte dans des dépôts finaux circonscrits dans des galeries ou des chambres faciles d'accès, situées à quelques dizaines ou quelques centaines de mètres sous la surface. Le stockage géologique final prévu en Allemagne, en Grande-Bretagne et en Roumanie pour ces déchets dans des mines profondes, uniquement accessibles par des puits, reste en revanche l'exception.

La sécurité est l'argument principal qui plaide en faveur d'un stockage final. Une sécurité qui résulte de la conjonction de plusieurs facteurs : l'éloignement des déchets de la biosphère, la faible vitesse d'écoulement de l'eau souterraine qui transporte la radioactivité, la capacité de la géosphère à retenir les radionucléides pouvant s'échapper du dépôt final et la sécurité passive intrinsèque au système de stockage final, grâce à la combinaison de plusieurs barrières techniques et naturelles indépendantes. Du

point de vue éthique, on défend alors que le stockage final évite de faire peser sur les générations futures des charges sur la gestion de déchets nucléaires induits par une production d'énergie dont elles n'auraient pas tiré avantage (NEA 1995).

#### Autres modèles de stockage

Ce raisonnement est cependant partout remis en cause avec une force croissante depuis dix ou quinze ans, entraînant des résistances sociales et politiques aux projets concrets de dépôts finaux.

En réaction, les institutions compétentes ont cherché à développer des variantes au modèle classique de stockage final ou ont accepté de reconsidérer entièrement leur stratégie de gestion des déchets radioactifs, au moins en ce qui concerne les déchets hautement radioactifs ou moyennement radioactifs contenant des radionucléides à demi-vie longue.

Parmi les options actuellement envisagées au niveau international, on peut citer :

- un stockage final avec une phase préalable de démonstration et de tests qui auraient lieu, soit dans le dépôt final, soit dans un laboratoire souterrain dans la zone du dépôt final,
- un stockage final qui intégrerait une possibilité de récupération des déchets (et leur surveillance) pendant un laps de temps fixé ou illimité,
- un stockage de longue durée des déchets, dans un dépôt de surface ou souterrain, qui permettrait leur surveillance pendant un temps fixé ou illimité,
- la combinaison de plusieurs de ces options.

Les choix nationaux entre ces options, pour les approfondir ou éventuellement les mettre en œuvre, dépend non seulement des raisons qui pourraient les inciter à changer de stratégie, mais de leurs conditions cadres spécifiques, en particulier de l'envergure et de la structure de leur programme d'utilisation de l'énergie nucléaire<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Avec ou sans la technologie des surgénérateurs, le retraitement des déchets

	<b>France</b>	<b>USA</b>	<b>Pays-Bas</b>	<b>Suède</b>
Objectifs prioritaires	Gagner en sécurité, améliorer la crédibilité, développement durable, améliorer l'acceptation	Gagner en sécurité, améliorer la crédibilité, améliorer également l'acceptation	Gagner en sécurité, améliorer la crédibilité, développement durable, améliorer l'acceptation	Phase de démonstration : gagner en sécurité ; GEL-R <sup>3</sup> : encore flou (améliorer l'acceptation?)
Objectifs techniques	Stockage de longue durée, GEL-R : gagner du temps jusqu'à la séparation des radionucléides à demi-vie longue / transmutation, réversibilité, contrôle des déchets ; laboratoire souterrain : acquérir de l'expérience, réduire les incertitudes des systèmes et des justificatifs, étude des possibilités de récupération	Vérification du comportement des dépôts finaux en tant que systèmes, consolidation des modèles par des analyses de sécurité, capacité de réagir à des événements imprévus	Gagner du temps jusqu'à la séparation des radionucléides à demi-vie longue / transmutation, réversibilité, contrôle des déchets, préservation de l'option du retraitement des déchets	Phase de démonstration : démonstration de la sécurité du fonctionnement du système de dépôt final, réunir des expériences ; GEL-R : encore flou
Période de mise en pratique	Stockage de longue durée : encore indéterminée ; GEL-R : encore indéterminée (env. 300 ans)	Accès direct aux déchets pendant 50 ans, dès le début du stockage, récupération des déchets possible pendant 100 ans (extensible à 300 ans)	Stockage de longue durée : encore indéterminée (jusqu'à plusieurs siècles) ; GEL-R : jusqu'à 200 ans (complètement définitif jusqu'à 600 ans)	Phase de démonstration : au moins 5 ans ; GEL-R : décision pas prise
Mode de mise en pratique	D'ici à 2006, examen de diverses options : stockage de longue durée en surface/en profondeur, GEL, diverses phases de GEL-R ; laboratoire souterrain : études (comprendre le système de stockage final, méthodologie des justificatifs)	Stockage récupérable des conteneurs dans des galeries, surveillance, études (effets de l'apport de chaleur sur la roche d'accueil, corrosion des conteneurs)	Avant 2000, examen de diverses conceptions comprenant les phases : stockage de longue durée en surface (100 – 300 ans), GEL-R (jusqu'à 200 ans) et complètement définitif du GEL	Phase de démonstration : une partie du volume de l'inventaire prévu est entreposée dans un secteur du dépôt final de manière à pouvoir être récupérée ; GEL-R : pas encore fixé
Déchets considérés	Stockage de longue durée et GEL-R : surtout combustible usé, HAA et MAA avec potentiel de recyclage ; GEL : déchets non recyclables	Combustible usé, autres HAA civils	Tous les déchets (peut-être seulement HAA et MAA avec potentiel de recyclage)	Combustible usé
Sites (roche d'accueil)	Laboratoire souterrain/ GEL-R : site de " L'Est " (argile) resp. pas encore désigné (granit)	Yucca Mountain (tuf)	Pas encore désigné (sel gemme, éventuellement argile)	Pas encore désigné, la procédure de sélection est en cours (cristallin)
Etat de la mise en pratique	Développement de modèles, études comparatives de sécurité	Planification de détail, préavis sur l'adéquation des sites vers 2001	Développement de modèles, études comparatives de sécurité	Phase de démo. : planification de détail ; GEL-R : développement de modèles
Programme d'utilisation de l'énergie nucléaire (1998/1999)	62 centrales (2 surgénérateurs), sortie du nucléaire non prévue	104 centrales, sortie du nucléaire non prévue	1 centrale, sortie du nucléaire prévue pour 2004	12 centrales, sortie du nucléaire prévue pour 2010

Figure 3 : Stratégies d'évacuation des déchets radioactifs en France, aux Etats-Unis, aux Pays-Bas et en Suède

<sup>3</sup> GEL-R : stockage final avec possibilité, préalablement limitée dans le temps ou non, de récupérer (et de surveiller) les déchets

France, Etats-Unis, Pays-Bas,  
Suède

La figure 3 présente, à titre d'exemple, les projets ou les modèles de gestion des déchets radioactifs civils envisagés ou instaurés en France, aux Etats-Unis, aux Pays-Bas et en Suède. Ces informations sont tirées des sources suivantes : ANDRA (1997), CNE (1998, 1999), CRWMS (1998), DODD et al. (1998), EIA (1999), IWM (1999), NEA (1997a, 1997b, 1998), NL (1993), OCRWM (1998), Richardson (1999), Selling et al. (1998), SKB (1999), SKI (1999). Elles se rapportent essentiellement au choix d'un stockage final classique ou d'une gestion alternative des déchets radioactifs. On notera que certaines options sont applicables à plusieurs types de déchets différents.

La France, les Etats-Unis, les Pays-Bas et la Suède offrent une palette de solutions alternatives au stockage final classique qui introduisent de nouvelles contraintes. On doit cependant être conscient des limites de la comparaison, étant donné l'ampleur sensiblement différente des programmes nucléaires civils d'un pays à l'autre. Quant au degré des quatre stratégies nationales, il est important d'être attentif aux particularités suivantes :

Les programmes français et hollandais sont encore dans une phase de développement. Les options indiquées ne sont que des modèles d'études en attendant l'élaboration d'un modèle définitif ultérieur.

La stratégie des Etats-Unis reste fixée par une loi en 1982 (Nuclear Waste Policy Act) et n'a subi que des modifications de détail depuis lors.

Le programme suédois de stockage final n'intègre pas de disposition réglementaire contraignante quant à la possibilité d'une récupération des déchets ; des techniques de récupération font toutefois l'objet d'études poussées (SKB 1999).

Motifs des alternatives au  
stockage final

Les motifs ou les événements qui ont conduit à l'abandon des modèles initialement envisagés varient d'un pays à l'autre. En France et aux Etats-Unis, le changement d'orientation s'est produit suite à de fortes résistances régionales et locales aux différents projets de dépôt final ; résistances encore renforcées par les hésitations méthodologiques manifestées dans le choix des sites prévus pour le stockage final. Les nouvelles approches visent à faciliter l'acceptation sociale. La Suède et les Pays-Bas présentent des analogies avec les deux pays précédents mais ils n'ont pas eu à faire face aux mêmes expériences. La France et les Pays-Bas font depuis 1991 et 1993 respectivement, de la réversibilité du stockage une condition politique de la gestion des déchets (et même en France une exigence légale).

Les objectifs prioritaires et les objectifs techniques indiqués à la figure 3 pour les quatre programmes de gestion des déchets radioactifs ne sont pas exclusifs et jouent également un rôle dans les débats menés ailleurs.

Amélioration de la sécurité et de la crédibilité

Pour augmenter la sécurité des dépôts de stockage final existants ou planifiés, et pour améliorer la précision et la portée des investigations d'adéquation des sites, une phase de récupération facilitée des déchets est chaque fois prévue. Ceci vaut aussi bien dans les quatre Etats considérés qu'ailleurs (p.ex. en Grande-Bretagne), même si la durée peut être variable (courte phase de test et/ou phase plus longue limitée dans le temps). Pendant ce laps de temps, il faut démontrer la faisabilité technique du stockage final de combustible usé, observer le comportement de l'ensemble du système de stockage final et réduire les incertitudes qui y sont liées, tant du point de vue des connaissances techniques que des prévisions à long terme. Parallèlement, l'aménagement d'un laboratoire souterrain permet d'élargir les connaissances de la roche d'accueil et du site dans son ensemble.

La nature et l'ampleur des mesures à entreprendre lors de chacune des phases en matière de surveillance et de recherche fait encore aujourd'hui l'objet de discussions ou en est au stade de la planification. Il serait néanmoins peu judicieux de prolonger par trop une phase de récupération facilitée des déchets, dans l'idée d'acquérir des informations destinées à réduire les incertitudes prévisionnelles sur le long terme, étant donné le risque que cela ferait peser sur la sécurité du dépôt dans le temps.

Réduire le potentiel de risque présenté par les déchets

Des expériences de grande envergure ont déjà lieu en France et aux Pays-Bas, mais contrairement à la discussion qui a lieu en Suisse, elles ne visent pas d'abord à remplacer ou à compléter les barrières naturelles et techniques par des mesures de contrôle et de réparation.

Dans ces deux pays, la priorité absolue est de différer la gestion des déchets radioactifs jusqu'au moment où l'on pourra bénéficier, espère-t-on, de nouvelles technologies qui permettront de réduire le potentiel de risque des déchets ou de recycler certains déchets en séparant les radionucléides à demi-vie longue et en les transmutant en radionucléides à demi-vie courte. Dans ces deux pays, ainsi qu'aux Etats-Unis (DOE 1999), l'étude du développement potentiel de ces technologies, met moins la priorité sur les intérêts d'une politique de gestion des déchets que sur la politique de l'énergie et de la recherche. Seule la France envisage de mettre en œuvre

ces technologies à l'échelon national et dans ce pays même, certains doutent du bien-fondé de ces techniques tant sur le plan économique que sur celui de la sécurité.

La Suède, comme d'autres pays, refuse quant à elle de fonder sa politique de gestion des déchets sur une stratégie d'attente de technologies nouvelles. Elle justifie son point de vue par la modestie de son programme atomique, par le caractère imprédictible de l'évolution des techniques, ainsi que par le coût et les conséquences écologiques des installations transitoires requises. A cela elle ajoute que le stockage final resterait nécessaire même dans le cas où l'on parviendrait à séparer et à transmuter les radionucléides (NEA 1999).

#### Renforcer l'acceptation

Dans tous les pays considérés, l'acceptation sociale (*acceptance*) est un aspect important de la définition des stratégies. Il faut cependant se demander si la prise en compte de l'acceptation sociale conduit à s'interroger sur le fondement de la démarche ou si, comme le redoute l'opinion publique hollandaise, la recherche de solutions alternatives n'est étudiée que dans le but de sécuriser la population (Damveld & Van den Berg 1999a).

La résistance posée à la concentration des déchets sur le site de Yucca Mountain (Nevada), seul site de dépôt prévu aux Etats-Unis pour le stockage final des déchets hautement radioactifs civils, n'a pas entraîné de modifications importantes dans le modèle de stockage, quand bien même des solutions alternatives, en particulier de stockage de longue durée, ont été évoquées dans la discussion (Gervers 1993). Pour susciter une meilleure acceptation, les autorités américaines ont surtout mis l'accent sur l'information au grand public et sur sa participation à certains processus de décision. On notera néanmoins que ces mesures n'ont été de nature à diminuer la résistance – par exemple celle de l'Etat du Nevada.

#### Conclusions

Enfin, il faut bien reconnaître que les deux objectifs que sont le développement durable et la recherche de consensus ne plaident de manière explicite en faveur d'un modèle particulier de stockage des déchets et qu'ils n'engagent qu'indirectement la question de la sécurité. De la même manière, on peut tirer des conclusions paradoxalement opposées de l'exigence éthique de laisser "une marge de manœuvre aux générations futures", selon les modes d'action qu'on entend promouvoir.

#### Evaluation récapitulative

Dans la plupart des pays, les déchets qui comportent essentiellement des radionucléides à demi-vie courte sont déposés dans des installations de surface ou à proximité de la surface terrestre, et ce la plupart du temps de manière définitive ou sans intention de récupération. S'agissant des

déchets hautement radioactifs et des déchets moyennement actifs à demi-vie longue, on envisage à nouveau depuis quelques années d'autres solutions que le stockage géologique final, longtemps seul considéré.

Le débat international est de plus en plus animé sur ce point. Non que les institutions responsables de la gestion des déchets voient dans les nouveaux modèles de stockage une possibilité d'accroître la sécurité, mais en réaction aux résistances et aux craintes exprimées dans de nombreux pays contre le principe du stockage final ou contre des projets particuliers de dépôts pour un stockage final. En outre, la France et les Pays-Bas doivent renoncer au stockage final classique en raison du caractère juridique et politique contraignant que ce pays ont choisi de donner au principe de réversibilité.

Plusieurs autres pays envisagent de compléter le modèle classique de stockage final en le faisant précéder par une phase probatoire ou par une phase de tests ou bien en prévoyant une phase plus longue mais circonscrite dans le temps durant laquelle la récupération des déchets serait facilitée. Cette dernière solution est étudiée dans tous les pays que nous avons considérés, notamment en ce qui concerne les déchets hautement radioactifs et le combustible irradié.

En France et aux Pays-Bas, la politique actuelle de gestion des déchets moyennement et hautement radioactifs pour la France et sans doute de tous les types de déchets pour les Pays-Bas entre dans une phase d'essai qui doit établir que les nouveaux modèles préconisés ("stockage final des déchets facilitant la récupération à long terme" ou "stockage de longue durée des déchets") sont à même de différer la gestion des déchets soit jusqu'à ce que des technologies nouvelles soient à même de réduire le potentiel de risque des déchets à long terme, soit jusqu'à ce qu'on puisse concevoir une solution définitive. Actuellement, nul ne peut cependant dire si et quand de telles technologies pourront être développées. Il est impossible, là où nous en sommes d'esquisser un quelconque plan d'action concret ou d'affirmer que des solutions nouvelles seront à même d'offrir des avantages quant à la sécurité.

## 2.3 Le programme suisse de gestion des déchets radioactifs

### 2.3.1 Cadre légal

Manipulation des déchets radioactifs

En Suisse, la manipulation des déchets radioactifs est régie par la loi du 22 mars 1991 sur la radioprotection et par l'ordonnance du même nom du 22 juin 1994. La loi stipule notamment que : " Les déchets radioactifs produits en Suisse doivent en principe être éliminés dans le pays. Le Conseil fédéral fixe les conditions auxquelles une autorisation d'exportation peut exceptionnellement être délivrée " (art. 25, al. 3).

Exportation des déchets

Législation atomique

La base légale pour la gestion des déchets radioactifs qui résultent de l'usage de l'énergie nucléaire est donnée par la loi du 23 décembre 1959 sur l'énergie atomique. Elle subordonne en particulier la construction d'un dépôt de déchets à une autorisation et à la surveillance de la Confédération. Cette loi est complétée par l'arrêté fédéral du 6 octobre 1978 qui la concerne. Celui-ci précise notamment : " Celui qui produit des déchets radioactifs doit veiller à ce qu'ils soient éliminés de manière sûre et il en assume les frais ; le droit de la Confédération de faire éliminer elle-même les déchets radioactifs aux frais du producteur est réservé. " (art. 10, al. 1).

La Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) est l'autorité de surveillance. Celle-ci définit les objectifs de protection relatifs au stockage final des déchets radioactifs dans sa directive DSN/HSK-R-21/d. La directive DSN/HSK-R-14/d régleme le conditionnement et le stockage intermédiaire des déchets.

### 2.3.2 Les programmes de stockage final des SMA et des HAA/LMA

La Suisse poursuit actuellement deux programmes de stockage final :

Programme SMA du Wellenberg

#### 1. *Déchets faiblement et moyennement radioactifs (SMA)*

Après une longue procédure d'évaluation, la CEDRA a proposé en 1993 comme site de dépôt final des déchets faiblement et moyennement radioactifs (SMA) le Wellenberg. L'année suivante, la Coopérative pour la gestion des déchets radioactifs du Wellenberg (GNW) était fondée et la demande d'autorisation générale déposée. Cependant, le 25 juin 1995, les citoyennes et les citoyens nidwaldiens rejetaient de justesse les deux objets concernant le Wellenberg – préavis du gouvernement cantonal relatif à la demande d'autorisation générale et à l'octroi de la concession d'utilisation du

sous-sol. Le 4 juin 1997, le DETEC suspendait la procédure d'autorisation générale.

Sur la base de la discussion tenue de 1995 à 1998, la GNW propose aujourd'hui un modèle réajusté (CEDRA/NAGRA 1998) prévoyant tout d'abord un entreposage surveillé dans des cavernes ouvertes et non comblées (voir chap. 4). La GNW s'est en outre déclarée prête à procéder par étapes et à ne demander dans un premier temps qu'une concession partielle l'autorisant à réaliser une galerie de sondage.

Depuis le refus du peuple nidwaldien, ce programme est cependant gelé. Pour poursuivre le projet, la GNW attend aujourd'hui une décision politique et une autorisation cantonale qui lui permettront d'explorer le sous-sol du Wellenberg grâce à une galerie de sondage destinée à étudier l'adéquation des couches rocheuses.

2. *Déchets hautement radioactifs et déchets moyennement actifs à demi-vie longue (HAA/LMA)*

Programme HAA/LMA

S'agissant des déchets hautement radioactifs et déchets moyennement actifs à demi-vie longue (HAA/LMA), la CEDRA poursuit l'étude de faisabilité du stockage géologique final dans deux roches d'accueil potentielles :

Massif cristallin du Nord de la Suisse

Ce projet étudie l'adéquation potentielle du massif cristallin du Nord de la Suisse. Le "projet Garantie 1985" a démontré de manière générale que cette roche était adéquate. Les géologues estiment cependant que ce sous-sol est difficile à explorer. Par la suite, des investigations sismologiques destinées à localiser un massif rocheux approprié ayant donné des résultats peu probants, on a renoncé à déposer d'autres requêtes de forage. L'option cristalline est vue désormais comme une solution de réserve.

Sédiments (argile à opalines) du Nord de la Suisse

Dans sa réponse de 1988 au projet Garantie, le Conseil fédéral demandait un élargissement du programme d'étude aux roches sédimentaires. Pour y répondre, la CEDRA a étudié les formations rocheuses de molasse d'eau douce inférieure et d'argile à opalines (CEDRA/NAGRA 1988). La seconde de ces formations rocheuses a paru plus favorable en raison de sa nature plus homogène et moins perméable (CEDRA/NAGRA 1994a). A partir de 1994, des études ont été faites sur les roches sédimentaires du Nord du canton de Zu-

rich. Depuis 1997, la CEDRA effectue des travaux dans le Weinland zurichois. Les mesures sismiques ainsi que le forage d'essai effectué en 1998/1999 à Benken ont répondu aux attentes (CEDRA/NAGRA 1999a). Il convient désormais de fournir le justificatif de site de dépôt dans ces formations d'argile à opalines épaisses d'une centaine de mètres pour accueillir le stockage des déchets.

#### Laboratoire souterrain

Dans le cadre du programme de gestion des déchets radioactifs, la CEDRA entreprend des études scientifiques et techniques dans deux laboratoires souterrains :

Au Mont Terri (canton du Jura), la CEDRA étudie les propriétés de l'argile à opalines comme roche d'accueil appropriée pour un dépôt final. Plusieurs organisations étrangères allemandes, japonaises, françaises et espagnoles notamment, participent à ce programme.

D'autres expériences où la CEDRA est associée à une large participation internationale se poursuivent en parallèle dans un laboratoire situé dans les formations rocheuses cristallines du Grimsel.

### 3. Les attentes sociales sur le stockage des déchets nucléaires et leurs conséquences

*Le chapitre 3 analyse et évalue les attentes sociales en matière de stockage des déchets radioactifs. Cette appréciation a une importance essentielle pour l'élaboration ultérieure du modèle suisse de stockage. La longueur de ce chapitre s'explique notamment par le fait qu'on a jusqu'à présent accordé peu de place aux préoccupations sociales.*

#### 3.1 Décisions sociales et fonctions d'une expertise

Compétence sociale

On a longtemps considéré que la question du traitement des déchets nucléaires relevait de la seule compétence d'experts scientifiques. Depuis quelques années, de nombreuses voix se font entendre pour dire qu'elle relève aussi d'une compétence sociale. Introduire ces différents éléments enrichit incontestablement le débat, mais il le rend aussi plus complexe. Comment arbitrer entre différents types de savoirs, différents niveaux de rationalités, différentes prétentions à la vérité sans infirmer la raison même qui fait qu'on prête l'oreille à ce nouveau type d'arguments : le souci de traiter la question des déchets radioactifs de manière pluraliste et démocratique ?

Ethique et aide à la décision

C'est en ce sens que nous voudrions parler d'éthique. C'est non seulement un savoir parmi d'autres, savoir éclaté lui-même en divers courants ou options philosophiques et anthropologiques, mais c'est aussi l'effort de chercher comment tenir compte de la variété des aspirations, visions du monde, hiérarchies axiologiques diverses qui traversent notre société, tout en donnant une réponse, crédible à travers les millénaires, au défi de devoir gérer les déchets radioactifs que nous avons engendrés.

Valeur du pluralisme

##### a. *Décision démocratique dans une société pluraliste*

Notre société est pluraliste et démocratique ; c'est non seulement un fait mais une valeur à prendre en compte dans la question du traitement des déchets radioactifs. Qu'est-ce que cela signifie ?

Tout d'abord, il n'y a pas d'accès à ce qu'est l'éthique indépendamment du débat qui a lieu dans la société. Toute position qui revendiquerait un accès privilégié à la vérité, au nom de la science, de l'économie ou d'un modèle philosophique ou transcendant particulier se

verrait à bon droit opposer un éventail de positions contraires *a priori* tout aussi justifié.

Dans la société coexiste une pluralité de visions du monde, de l'homme et de son destin, irréductibles et souvent inconciliables. Nous ne sommes pourtant pas condamnés au subjectivisme (l'éthique ne relève que de la sphère privée du sujet) ou au relativisme (tous les points de vue se valent).

Valeurs communes

La gestion des déchets exige au contraire des décisions démocratiques. La démocratie est fondée sur quelques valeurs communes (exprimées dans la constitution), telles que l'égalité de droit de tous les citoyens ou l'équité dans la protection que l'Etat leur doit, mais surtout sur un ensemble de procédures et de règles à l'aide desquelles résoudre les conflits sociaux.

Questions fondamentales

*b. Pluralité des visions sur les déchets nucléaires*

La question des déchets nucléaires fait l'objet d'un vaste débat international, sans doute parce qu'elle engage profondément la variété des positions sur l'homme et la société, et chacun tente de tirer l'éthique de son côté pour justifier sa position.

Technique et société

Pensons ici à deux points de vue extrêmes. Pour les uns, la question est purement technique, et relève d'une objectivité scientifique sur laquelle la société ne doit pas exercer de regard critique. Pour les autres, la question est indissociable d'une option sur le nucléaire qu'ils condamnent : régler la question des déchets serait entériner et légitimer l'usage de l'atome.

Quelle liberté d'action ?

A un moindre degré, que signifie respecter la liberté des hommes et des femmes demain ? Tous sont d'accord pour dire respecter la liberté des générations à venir, mais beaucoup divergent sur l'interprétation qu'il faut en donner. Pour les uns, cela signifie qu'il faut sceller définitivement les déchets aujourd'hui pour que les générations suivantes n'aient pas à s'en soucier. Pour d'autres, une telle option reviendrait à faire peser un risque démesuré sur les générations futures en les privant de tout moyen d'action.

Sur un autre plan s'affrontent ceux qui définissent l'éthique en référence à un bien (du bonheur de l'homme au bien-être social) et ceux qui se réfèrent à une théorie de la justice<sup>2</sup>.

Théories éthiques

Ces positions imprègnent, consciemment ou non, les débats qui traversent la réflexion contemporaine. Mentionnons l'éthique téléologique (qui se définit en référence à une fin), les différents modèles d'utilitarisme, l'éthique de la responsabilité (Jonas 1979), le communautarisme et le neo-aristotélisme (Walzer 1983, Taylor 1992) etc., ainsi que l'éthique déontologique.

Utilitarisme et déontologie

Dans la suite de ce texte, nous mentionnerons principalement deux approches théoriques souvent opposées : l'approche déontologique ou contractualiste et l'approche utilitariste<sup>3</sup>. Celle-ci se donne généralement pour tâche de maximiser l'intérêt économique du plus grand nombre et considère que le danger peut être accepté s'il en résulte un important avantage économique. L'approche déontologique met en avant le respect des droits moraux individuels reconnus par la démocratie.

c. *Fonction et importance d'une expertise*

Tâche de la société

Nous avons posé d'emblée la pluralité des visions et des modèles. Elle est *un fait* mais aussi *un bien* auquel nous sommes tous attachés. Il ne peut être question pour le groupe d'experts de trancher entre les positions. C'est fondamentalement à la démocratie qu'il revient d'exprimer au travers de ses institutions le souhaitable social vers lequel elle entend s'orienter.

Tâche des experts

Le rôle des experts doit être plutôt ici de dégager le socle des valeurs qui conditionne la possibilité même du jeu démocratique aujourd'hui et demain. Nous sommes donc conduits à hiérarchiser quelques buts ou valeurs, qui garantiront l'exercice de ce jeu dans la pluralité et le respect. Tel est le but des pages qui suivent.

<sup>2</sup> Il existe actuellement de nombreuses théories de la justice. Mentionnons les différents modèles de justice distributive (comment répartir les produits et des charges en fonction des générations, des différentes strates sociales ?), les théories de la justice fondées sur la discussion ou l'argumentation (comment faire valoir par procuration les intérêts des générations futures ?), ou celles qui refusent de mettre en balance le bien-être avec certaines valeurs jugées plus fondamentales (intégrité de la création, respect de l'environnement etc.)

<sup>3</sup> Nous nous en tenons à ces deux positions parce qu'elles sont celles qui ont poussé le plus loin leur argumentation et qu'elles sont celles qui sont le plus présentes dans le débat social. Cf. H., Damveld, R., Van de Berg, *Social and Ethical Aspects of Retrievable Disposal*, working paper en date du 23 juin 1999.

### 3.2 Critères de jugement

Priorité à la sécurité	<p>a. <i>Sécurité pour l'homme et pour l'environnement</i></p> <p>La sécurité pour l'homme et pour l'environnement est la valeur suprême et le premier but de tout programme sur la gestion des déchets nucléaires. Ce principe fait l'unanimité. La sécurité est la condition première pour que l'homme puisse agir, choisir, faire acte de liberté.</p>
Egalité des droits pour tous	<p>b. <i>Équité (fairness)</i></p> <p>Une fois la sécurité assurée, l'équité est la seconde valeur qui nous paraît centrale. Elle est au cœur du projet démocratique. Les citoyennes et citoyens ont les mêmes droits et se voient garantir une égalité de traitement. Nul ne doit être préterité pour sa situation sociale, ses idées ou sa culture. Le principe vaut aussi dans le temps. Personne ne doit être discriminé simplement parce qu'il appartient à une autre génération que la nôtre (Parfit 1983). Aussi longtemps que les déchets radioactifs présenteront un danger pour l'homme, les générations futures doivent pouvoir bénéficier du même niveau de sécurité que la génération présente.</p>
Rejet du <i>discount</i>	<p>Remarquons que cette analyse coupe court à la volonté de certains utilitaristes d'introduire un <i>discount rate</i><sup>4</sup> dans le calcul coûts/avantages pour rendre compte de l'éloignement dans le temps de certains risques. Du point de vue moral, la qualification des événements ne dépend pas de leur éloignement dans le temps mais reste fondamentalement égale<sup>5</sup>. Il faut rejeter le raisonnement qui dirait qu'avec un <i>discount rate</i> de 10% par an, les effets sur le bien-être des gens dans vingt ans ne comptent que pour un dixième de ce qui affecte le bien-être aujourd'hui.</p>
Echelle temporelle	<p>La gestion des déchets nucléaires engage les générations futures sur des laps de temps qui, pour les déchets hautement radioactifs, peuvent dépasser 100 000 ans. Cet horizon sort de l'échelle même de ce que nous pouvons nous figurer quant au transfert du savoir technique et à la stabilité des institutions politiques et sociales, car la réflexion ne porte guère sur des périodes de plus de 1000 ans.</p>

<sup>4</sup> *Discount rate* : le pourcentage annuel par lequel on pondère la valeur (coût ou bénéfice) associée à un événement futur pour connaître sa valeur aujourd'hui. Le *discount rate* est donc le contraire du taux d'intérêt, pourcentage annuel par lequel on pondère la valeur d'un bien aujourd'hui pour connaître sa valeur future. La science économique suppose que le taux d'intérêt est positif, tandis que le *discount rate* est négatif.

<sup>5</sup> D. Parfit, 1983, pp. 31-37

Pour juger les différents modèles de gestion des déchets radioactifs, deux échelles temporelles doivent ainsi être considérées : le temps durant lequel la société actuelle pourra intervenir<sup>6</sup>, et le temps où la sécurité devra être garantie, pour l'homme et l'environnement, sans intervention humaine<sup>7</sup>.

Dans la suite de ce texte, nous nous concentrerons sur la première de ces phases, sans perdre de vue que la seconde est l'objectif final, beaucoup plus éloigné, mais globalement plus important pour la sécurité.

c. *Acceptation individuelle et sociale*

Acceptation et compensation

En vertu de la sécurité et de l'équité, la meilleure solution d'un point de vue démocratique est celle qui égalise le risque entre les individus. Toutefois, dans bien des cas, l'égalité dans la distribution des risques n'est pas possible. Alors, leur répartition inéquitable requiert le consentement individuel, direct ou non, et le cas échéant, une compensation.

Un mode de traitement des déchets radioactifs ne serait donc acceptable que s'il laisse à chaque génération de citoyens la possibilité de le confirmer ou de l'infirmer par une décision démocratique, en vertu de leur droit à l'autodétermination.

Acceptation sociale

L'acceptation sociale est nécessaire aussi. On ne saurait imaginer la construction et l'exploitation d'un dépôt de déchets radioactifs sur un site déterminé sans l'accord d'une majorité de la population suisse, et en particulier dans la région du site. Le dépôt devra alors être conçu de manière à ce que les générations futures soient incitées à l'accepter également.

En comparaison de la sécurité et de l'équité, le critère de l'acceptabilité a une signification moindre. Prétendre que la génération présente pourrait légitimement engager de manière irréversible les siècles à venir contreviendrait au principe d'égalité de traitement et à

6 Reste à déterminer à quel terme on peut considérer les institutions démocratiques suisses suffisamment stables. Echéance 500 ans ?

7 Le mode d'évacuation est lié à la durée de vie des déchets radioactifs, comme l'indique l'exemple suivant : selon le département US de l'énergie et l'Académie des sciences des USA, il ne suffit pas d'établir la solidité de certains conteneurs d'acier durant 500 ans si la durée des déchets radioactifs qu'ils contiendront est supérieure à 10'000 ans

l'idée que les citoyens doivent pouvoir participer aux décisions les concernant, où qu'ils soient placés sur l'échelle du temps.

Pondération de valeurs

Imaginons, par exemple, qu'on préconise un dépôt géologique final ouvert pendant 100 ans. Un tel modèle rencontrerait sans doute une acceptation sociale plus forte qu'un dépôt du même type qu'on fermerait sitôt la phase d'exploitation terminée. La marge de liberté des générations futures en serait augmentée, en matière de récupération. Par ailleurs, la sécurité pourrait s'en trouver quelque peu réduite. Il ne serait guère possible d'exclure tout danger pour les travailleurs. Au surplus, cela aurait pour conséquence d'imposer aux générations futures certaines obligations (surveillance, contrôle, entretien, sûreté et fermeture du dépôt).

### 3.3 Principes à prendre en compte dans la conception du dépôt

#### a. *La sécurité est prioritaire*

Intégration des coûts et des bénéfices

Si l'on accepte avec les utilitaristes de rechercher la maximisation de la somme arithmétique des utilités, il convient d'intégrer dans le calcul l'ensemble des coûts et des risques liés à un modèle de dépôt. Un risque même faible mais quasiment infini par son échelle temporelle risquerait de peser fortement sur le rapport coûts/avantages. Pour cette raison, les utilitaristes préfèrent trouver le plus rapidement possible une solution réduisant au minimum les coûts ultérieurs. La liberté des générations futures serait ainsi protégée par le fait qu'elles n'auraient plus aucune obligation.

Qu'on assure dès aujourd'hui la sécurité la plus grande possible aux humains et à l'environnement et ce durant toute la durée de vie des déchets en imposant la charge la plus faible possible aux générations futures.

Nécessité d'un contrôle

Telle est la manière de voir de nombreux experts techniques. Elle est remise en question notamment par des organisations de protection de l'environnement et des tenants du contractualisme. Ils font valoir que les solutions scientifiques proposées s'appuient en partie sur une réflexion économique à court terme, avec le risque de priver la société de prendre ses responsabilités, ou la tentation de ne pas accorder l'attention nécessaire à de possibles difficultés futures.

L'argument qui prévaut est cependant celui du danger qui pèse sur l'homme et l'environnement. L'incertitude inhérente à toute prévision, surtout portant sur une longue période, pourrait entraîner un risque inadmissible. C'est pourquoi il faut des mesures de contrôle et de surveillance<sup>8</sup>. De plus, la sécurité demande que ces modèles soient vérifiés par l'expérience et dans la durée.

Instances de contrôle	<p><i>b. Contrôle technique et organes démocratiques indissolublement liés</i></p> <p>L'idée même du contrôle n'est pas indépendante du jeu social. Qui contrôle ? Comment s'assurer que les autorités responsables accomplissent leur tâche de manière sûre, constante, indépendante et en toute légitimité ? Toutes ces questions sont ouvertes et dépendent moins d'impératifs techniques que d'un souhaitable social.</p>
Qualités requises des instances de contrôle	<p>Aussi longtemps qu'un dépôt de déchets radioactifs demande un contrôle, il faut une institution respectant les différentes valeurs mentionnées plus haut, et qui soit acceptée socialement. Or il apparaît que lorsque les individus sont incapables de contrôler un risque auquel ils sont exposés, ce risque sera considéré comme acceptable s'il est contrôlé par des institutions largement acceptées elles-mêmes et qui suscitent la confiance (Slovic 1991). Cela implique, semble-t-il, qu'elles soient indépendantes, non seulement des producteurs d'énergie nucléaire, mais aussi des autorités politiques (Damveld &amp; Van de Berg 1999b).</p>
Mettre à profit les innovations	<p><i>c. Rester ouverts aux innovations techniques et sociales</i></p> <p>Les solutions les meilleures aujourd'hui ne sont meilleures qu'en fonction de l'état de nos connaissances et de nos savoirs techniques. Comment imaginer qu'au cours des siècles prochains ceux-ci n'évoluent pas, ouvrant de nouveaux possibles et appelant de nouvelles solutions ?</p>
Eviter les contraintes durables	<p>De ce point de vue, il est souhaitable que les générations futures aient la possibilité, sur une échelle temporelle large, de gérer les déchets radioactifs de manière inédite, notamment par l'application d'innovations nouvelles. Elles doivent pouvoir entreposer ces déchets autrement ou ailleurs, les retraiter ou les éliminer, voire, dans le cas des déchets hautement radioactifs, en faire un nouvel usage.</p>

<sup>8</sup> Bien entendu, la limite des solutions de contrôle de la sécurité est qu'elles ne se retournent pas contre la sécurité en lui portant atteinte !

Elle doivent pouvoir aussi surveiller le comportement du dépôt. Mais leur liberté sera restreinte s'il en résulte des charges ou des obligations permanentes, indépendantes de leur volonté (Shrader-Frechette, 1991 ; MacLean, 1986). Cela implique un choix de société.

d. *Définir le niveau de sécurité acceptable relève d'un choix social*

Il appartient également à la société de fixer le niveau de sécurité exigé.

Niveau de risque acceptable

Le niveau de risque acceptable est bien entendu tributaire de l'état de la science et de la technique, mais sa définition dépend de nombreuses conditions sociales. En fin de compte, une décision démocratique interviendra. L'éthique commande en outre que l'on laisse aux générations suivantes une marge de liberté pour fixer elles-mêmes le risque acceptable selon leurs idées.

De manière générale, on définit le risque en fonction de la probabilité des accidents et selon leur ampleur. Dans leur définition de ce qu'est un risque acceptable, bien des experts prennent implicitement pour acceptable le niveau de risque naturel ou traditionnellement accepté. Or les contractualistes soulignent que les données naturelles sont toujours soumises à interprétation en fonction de l'état des savoirs et des souhaits sociaux. On en veut pour preuve les controverses sans cesse ranimées sur les doses acceptables de radiation.

Paralogisme naturaliste

Plus fondamentalement, on ne peut lier l'acceptabilité d'un risque à son niveau naturel sans commettre ce qu'on nomme en philosophie un paralogisme naturaliste (*naturalistic fallacy*, Moore 1951) qui confond ce qui est et ce qui doit être. Autrement dit, la sécurité liée à un modèle de gestion des déchets nucléaires ne doit pas être vue seulement sous l'angle d'un niveau de risque absolu (*risk magnitude*), mais aussi sous celui des possibilités de le faire baisser.

La sécurité dans l'entreposage des déchets radioactifs doit être contrôlée par des mesures appropriées avant que le dépôt ne soit définitivement fermé et scellé (stockage final).

Ce contrôle comporte à la fois des aspects techniques et sociaux. Il implique la mise en place d'une instance de contrôle sûre, durable, indépendante et démocratiquement légitime. Le contrôle doit intégrer de manière constitutive le concept de réversibilité, c'est-à-dire le fait que chaque génération puisse en principe faire valoir des compétences nouvelles et revenir sur les choix antérieurs, en particulier sur le dépôt et les exigences qui y sont liées.

Réversibilité

Ces différents principes peuvent être synthétisés dans la notion de réversibilité. Celle-ci représente un élément important du développement durable dans la mesure où elle associe, à la protection de l'homme et de l'environnement dans le temps et au progrès économique, une exigence de justice et de cohésion sociale.

### 3.4 Le principe pollueur/payeur

Coûts de gestion des déchets

La gestion des déchets nucléaires doit imposer la charge la plus faible possible aux générations futures. Ce principe est justifié non seulement par des arguments utilitaristes mais aussi par une considération d'équité. Il existe une asymétrie évidente dans le rapport risque/coût-bénéfice entre notre génération et les générations futures. Il serait inéquitable que les générations qui profitent de l'énergie nucléaire en fassent peser les externalités et les coûts induits sur leurs descendants.

Bases économiques de la gestion des déchets

D'un point de vue économique et pour ménager les ressources, il faut réduire au mieux les coûts de construction, d'exploitation, de surveillance et de contrôle du dépôt. De plus, l'équité et le souci de laisser une liberté d'action aux générations futures exigent que l'on prête attention tout spécialement aux coûts induits.

Principe de responsabilité causale

Cela irait aussi dans le sens de l'esprit du principe pollueur payeur, qui dit que " le pollueur devrait se voir imputer les dépenses requises pour que l'environnement soit rétabli dans un état acceptable "<sup>9</sup>. En terme strict ce-

<sup>9</sup> OCDE, *Recommandation du Conseil sur les principes directeurs relatifs aux aspects économiques des politiques de l'environnement sur le plan international*, 26 mai 1972. Pour une vue d'ensemble des textes de l'OCDE concernant le PPP, voir OCDE, *Le Principe Pollueur-Payeur*, Monographie sur l'environnement, Paris, 1992.

pendant, on n'exige généralement du pollueur qu'il indemnise les victimes ou qu'il répare les dommages causés à l'environnement qu'en cas de pollution accidentelle ou de dépassement d'une valeur limite fixé dans la loi. Il n'est pas inquiété pour la pollution résiduelle, ni pour les pollutions souvent chroniques inférieures à la limite légale. Il nous semble pourtant que des indemnités pourraient être exigées en l'occurrence, à l'instar de ce qui se fait de plus en plus souvent en politique environnementale (Barde 1991).

a. *Compensation*

Dans la gestion des déchets nucléaires, la juste répartition des coûts et des avantages est de première importance, non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps. Aux risques accrus affectant la zone du dépôt doivent correspondre des compensations appropriées ou une solidarité sociale. La compensation est requise *a fortiori* lorsque les intéressés n'auront pas été consultés et qu'une juste répartition des coûts et utilités fera défaut. On devra en négocier le montant en veillant à intégrer le point de vue des générations futures (cf AGV 1998).

b. *Coûts de surveillance et de contrôle*

Les coûts liés aux mesures de surveillance et de contrôle du dépôt, qu'ils soient de nature technique ou sociale, doivent être pris en charge par les responsables de la production des déchets.

c. *Coûts de la récupération*

La récupérabilité facilitée des déchets est un corollaire de l'exigence de réversibilité et implique des moyens techniques et financiers. Lorsque la récupération a lieu pour raison de sécurité, le cas relève de la responsabilité du producteur des déchets et devrait être formalisé comme tel dans la loi. Si elle est motivée autrement, cela n'implique pas la prise en charge des coûts par la génération présente.

d. *Nouveau traitement des déchets*

La provision de moyens financiers ne devrait pas concerner, non plus, un éventuel traitement alternatif des déchets, sauf si des négligences de la génération actuelle nuisent gravement aux générations futures.

## 4. Éléments de base du “ modèle suisse de gestion des déchets radioactifs ”

Le présent chapitre décrit les conditions et le cadre général de la gestion des déchets radioactifs, compte tenu des attentes de la société.

La figure 4 illustre les conditions et le cadre social et technique du stockage des déchets.

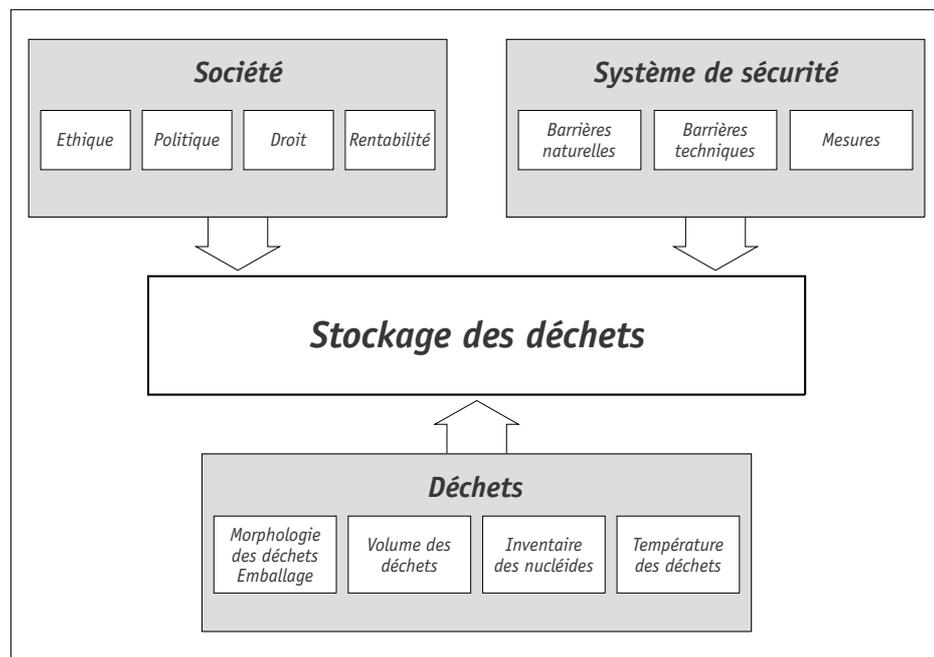


Figure 4 : Conditions et cadre général du stockage des déchets

### 4.1 Inventaire des déchets

Sortes de déchets

Les déchets sont classiquement identifiés et répartis en plusieurs catégories en vue de leur affectation à différents types de dépôts. On distingue actuellement en Suisse cinq sortes de déchets en fonction de leur origine (CEDRA/NAGRA 1994b) :

- déchets d’exploitation
- déchets de réacteur
- déchets dus à la désaffectation
- déchets de retraitement
- déchets produits par la médecine, l’industrie et la recherche (déchets MIR)

Dès lors qu'on renonce au retraitement intégral, il faut conditionner les barreaux de combustible usé (uranium et MOX<sup>5</sup>) et les évacuer en tant que déchets hautement radioactifs (HAA).

#### Catégories de déchets

Sur la base de leur dangerosité et de la part de radionucléides à demi-vie longue qu'ils renferment et compte tenu d'analyses de sécurité à long terme, ces groupes de déchets sont divisés en trois catégories déterminées dans le cadre du programme suisse de déchets radioactifs : déchets hautement radioactifs (HAA), déchets moyennement radioactifs (MAA), déchets faiblement radioactifs (SAA). Etant donné qu'aujourd'hui, il n'existe que des déchets d'exploitation et des déchets MIR, mais pas encore de déchets issus de la désaffectation d'installations, la description des différentes sortes de déchets a un simple caractère de modèle. Par ailleurs, on notera que renoncer au retraitement des déchets implique la nécessité du stockage direct du combustible usé et donc un changement du volume des déchets radioactifs. La figure 5 donne un aperçu des volumes probables par type de déchets.

Sorte de déchet	SMA	LMA	HAA
Exploitation des centrales nucléaires	9'200		
Réacteurs	2'400		
Désaffectation des centrales nucléaires	43'000		
Désaffectation de l'IPS	11'000		
Retraitement	5'700	2'000	130
Médecine, industrie, recherche (MIR)	4'000		
Combustible uranium et MOX			4000
<b>Total</b>	<b>75'300</b>	<b>2'000</b>	<b>4130</b>

Figure 5 : Volume des différentes sortes de déchets en m<sup>3</sup> (dans l'hypothèse d'une durée d'exploitation de 40 ans pour les cinq centrales nucléaires, et le retraitement d'env. 1000 t d'oxyde d'uranium en vertu des contrats actuels (CEDRA/NAGRA 1994b et AGNEB 1997))

<sup>5</sup> Les barreaux de combustible MOX (oxyde mixte) contiennent non seulement de l'uranium, mais encore du plutonium.

## 4.2 Modèles de dépôts

Les possibilités de stocker les déchets en Suisse sont présentées à la figure 6.

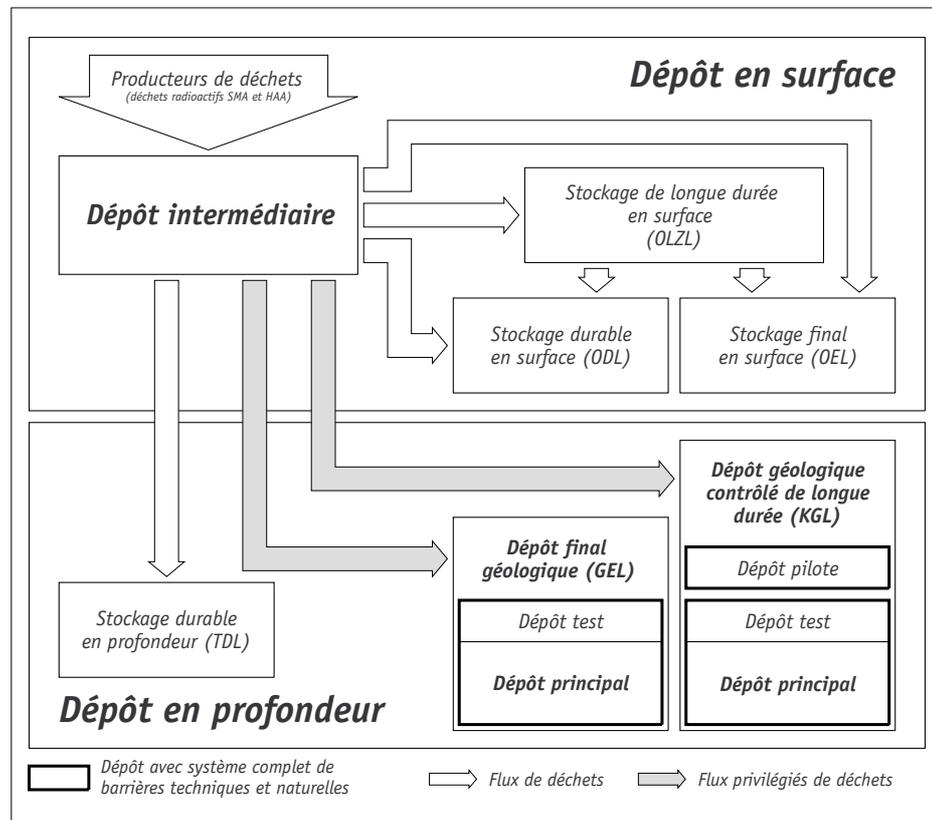


Figure 6 : Types de dépôts en surface et de dépôts en profondeur

### 4.2.1 Stockage intermédiaire

#### Définition et objectif

Selon la Directive DSN/HSK R-14, un dépôt intermédiaire sert à conserver à moyen terme des fûts de déchets dans des locaux construits à cet effet et affectés à cet usage et compte tenu de la ferme intention de les en extraire ultérieurement.

#### Application

Dans un dépôt intermédiaire, la protection de l'homme et de l'environnement repose sur des barrières techniques et des mesures actives. Les barrières techniques comprennent les matrices à déchets, les conteneurs de déchets, les bâtiments et les dispositifs de stockage. Les mesures comprennent la surveillance et l'entretien des déchets, ainsi que des bâtiments et des infrastructures. La durée d'activité d'un dépôt intermédiaire est généralement limitée à quelques dizaines d'années.

#### 4.2.2 Stockage durable

Après le stockage intermédiaire, les déchets peuvent être transférés dans un dépôt en surface ou dans un dépôt en profondeur. Plusieurs types de dépôts peuvent alors être envisagés :

##### 1. *Dépôt durable*

Définition et objectif

La notion de “dépôt durable” (DL) répond au principe de la garde du site de dépôt (Buser 1998). Elle implique la construction d'ouvrages spécifiques en surface (dépôt durable en surface, ODL) ou en sous-sol (dépôt durable en profondeur, TDL). Tous deux ne sont ni comblés ni scellés.

Le dépôt durable doit protéger l'homme et l'environnement durablement (pendant toute la durée du stockage des déchets) contre les effets nocifs des déchets et doit permettre de surveiller ou de récupérer les déchets à tout moment sans moyens disproportionnés.

Application

La sécurité d'un dépôt durable est assurée par la conjonction de barrières techniques et de mesures préventives (Buser 1998, Nux 1991, Greenpeace 1994). Les déchets d'un dépôt durable sont accessibles à tout moment. La récupération n'est pas plus difficile que la mise en dépôt.

##### 2. *Stockage de longue durée sous contrôle*

Définition et objectif

La notion de “stockage de longue durée sous contrôle” (LZL) a été introduite par les organisations écologiques dans le rapport final du “Dialogue sur la gestion des déchets radioactifs” (Ruh 1998), comme une composante d'un nouveau modèle de stockage des déchets en Suisse.

Lors de leur audition par l'EKRA, les représentants de la Fondation suisse de l'énergie, de Greenpeace Suisse et du MNA ont fait valoir leur position de la manière suivante :

- La notion de “stockage final” dérange. L'adjectif “final” occulte la responsabilité des agents actuels qui peuvent s'estimer quittes du point de vue du droit mais non du point de vue de la certitude que le contenu du dépôt ne présente plus de risque pour la sécurité.
- Le concept de stockage de longue durée sous contrôle (LZL) offre une perspective satisfaisante dans la mesure où il associe une

conception adéquate du stockage et une stratégie dynamique dans le temps. Les organisations écologiques n'ont pas d'avis tranché quant à savoir lequel d'un dépôt géologique ou d'un dépôt de surface serait préférable. Elles sont désormais toutefois convaincues que le principe de la garde du site de stockage n'est pas approprié.

- Le LZL offre le double avantage d'une surveillance et d'une récupération éventuelle des déchets facilitées.
- Lorsqu'elles évoquent la possibilité d'un dépôt en surface ou d'un dépôt proche de la surface, les organisations écologiques estiment que celui-ci devrait être aussi stable qu'un dépôt géologique en profondeur. En outre, un dépôt en surface ne devrait pas nécessiter d'entretien.
- Le LZL pourrait n'être au bout du compte qu'une étape vers un stockage final. Cependant, les organisations écologiques refusent de considérer le LZL comme une simple étape intermédiaire en vue d'un stockage final. Celui-ci devrait reflète plutôt une nouvelle philosophie du contrôle des dépôts pendant des siècles, voire des millénaires ; ce qui implique la mise en place de structures appropriées à cette échelle. Aucune idée concrète n'est formulée quant au délai de transition entre un LZL et la possibilité d'un stockage final.
- La différence majeure entre le LZL et le stockage final aux yeux des organisations écologiques est l'exigence de réversibilité, au cœur de l'idée de LZL mais non compatible avec celle de stockage final.

Les organisations écologiques estiment qu'il ne leur revient pas de définir plus précisément quelle forme devrait prendre un LZL. Elles attendent du groupe d'experts qu'il définisse les étapes nécessaires pour passer de l'idée théorique d'un LZL à un niveau de planification comparable à celui déjà atteint pour le modèle de stockage final.

On peut tirer de la SES (1999) d'autres éléments touchant la notion de LZL : le LZL pallie le défaut du stockage final, non acceptable dès lors que le scellement du dépôt final ne permet plus de possibilité d'intervention dans le dépôt. Les organisations écologiques réitérent à cette occasion leur exigence d'abandon du nucléaire, condition préalable à toute stratégie sérieuse de gestion des déchets nucléaires.

Application

Pour l'EKRA, le concept de stockage de longue durée sous contrôle (LZL) est marqué par une contradiction interne : les organisations écologiques écartent le principe de garde du site de dépôt tout en réclamant son contrôle pendant plusieurs milliers d'années. Pour que le LZL ne soit pas assimilable à un dépôt durable (DL), il faudrait qu'il remplisse les conditions suivantes :

- Etant donné que dans un LZL – à la différence d'un DL –, l'entretien permanent ne peut être une obligation, les espaces de stockage et les cavernes doivent être comblés rapidement. Le contrôle d'un LZL se rapporte donc avant tout au comportement du dépôt et à son intégrité.
- Si l'on veut que le processus de stockage soit réversible aussi longtemps que les générations futures le voudront, des mesures appropriées doivent être entreprises pour faciliter la récupération éventuelle des déchets.
- Un LZL aménagé en surface (OLZL) ou en profondeur devrait être vu comme une solution transitoire. Pour garantir la sécurité à long terme, le LZL devrait pouvoir être transformé à tout moment en dépôt final, sans nécessiter de moyens excessifs.

### 3. *Dépôt final*

Définition et objectif

La directive DSN/HSK R-21 définit le "stockage final" comme un stockage, illimité dans le temps et ne nécessitant pas d'entretien, de déchets radioactifs sans intention de récupération.

Un stockage final doit protéger l'homme et l'environnement jusqu'à ce que les déchets cessent d'être dangereux, sans imposer aux générations futures des obligations quant à nos propres déchets.

Application

Parmi les différents modèles de stockage final, celui de dépôt géologique final (GEL) est le plus avancé et a déjà été appliqué avec succès pour les déchets faiblement et moyennement radioactifs (SMA) dans de nombreux pays. Dans ce type de dépôt, la protection de l'homme et de l'environnement est assurée uniquement par des barrières naturelles et techniques, une fois le dépôt comblé, scellé et fermé. Le GEL est fermé le plus rapidement possible lorsque les déchets sont mis en place. Le modèle de GEL n'exclue naturellement pas qu'on prévoit ensuite, depuis la surface, une surveillance de l'environnement du dépôt.

---

Dépôt test	<p>Outre le dépôt principal, le modèle de GEL prévoit généralement un dépôt test. L'idée de dépôt test a pour but de vérifier l'adéquation du dépôt final en matière de sécurité. Le dépôt test est exploité avant le dépôt principal et le stockage définitif des déchets et permet d'analyser la sécurité dans le dépôt principal. Le test a lieu dans la zone du futur dépôt principal, soit avec de véritables déchets, soit, dans un premier temps, avec des déchets non radioactifs qui font office de simulateurs.</p>
Dépôt final proche de la surface	<p>Ce type de dépôt, assimilable à une décharge, n'est envisagé dans aucun pays pour les déchets hautement radioactifs (HAA) pour des questions évidentes de sécurité à terme.</p>
Le modèle révisé de dépôt du Wellenberg	<p>Dans le temps qui immédiatement précède et suivi la votation sur le dépôt final du Wellenberg (Nidwald), plusieurs exigences ont été posées quant au contrôle et à la récupération des déchets. Se fondant sur le projet présenté dans le cadre de la demande d'autorisation générale, la GNW a donc élaboré un modèle révisé de dépôt (CEDRA/NAGRA 1998).</p> <p>Ce modèle révisé permet de maintenir l'ouverture du dépôt pendant un temps circonscrit, tout en gardant le même objectif de sécurité à long terme. Les cavernes sont construites pour pouvoir rester ouvertes pendant un siècle. La conception du modèle permet pendant tout ce temps de contrôler et de récupérer facilement les matériaux et les déchets. Dans l'intervalle, le dépôt doit pouvoir à tout moment être fermé en quelques années, en fonction d'une demande ou en cas de nécessité. Dans ce cas, on prévoit de combler et de sceller d'abord les cavernes de stockage puis les galeries d'accès.</p> <p>Dans ce modèle révisé, la décision de fermer définitivement le dépôt est différée, laissée désormais à l'appréciation des générations futures. Mais hormis ce fait, ce modèle révisé ne revient pas sur le modèle du stockage géologique final. Une première évaluation de technique de sécurité effectuée par la CEDRA atteste que la sécurité d'exploitation et la sécurité à long terme restent également garanties dans ce modèle.</p>

Définition et objectif	<p>4. <i>Stockage géologique durable contrôlé (KGL)</i></p> <p>Répondant à son mandat et tenant compte des suggestions des organisations écologiques, l'EKRA a pour sa part développé un nouveau concept : le modèle de stockage géologique durable contrôlé (KGL ; chapitre 5).</p> <p>Ce modèle vise à concilier l'exigence de sécurité à long terme du stockage final et l'exigence de réversibilité.</p>
Application	<p>Le modèle de KGL associe trois types de dépôts : un dépôt principal qui correspond dans son principe à un dépôt géologique final classique (GEL), un dépôt test et un dépôt témoins (dépôt pilote).</p>
Dépôt pilote	<p>Parallèlement au dépôt principal, transformé après la phase d'exploitation en dépôt géologique final (GEL), le dépôt pilote doit permettre la surveillance et le contrôle du stockage géologique durable contrôlé, sans perturber le fonctionnement du dépôt principal. Alors que le dépôt test est physiquement proche du dépôt principal, le dépôt pilote en est éloigné et peut être exploité au-delà de la phase d'exploitation et d'observation du dépôt principal. Les fonctions du dépôt pilote ainsi que les exigences posées à l'installation sont développées au chapitre 5.</p>

### 4.3 Système de sécurité

La sécurité d'un dépôt de déchets radioactifs est assurée par une série de barrières naturelles et techniques (système de sécurité passive) ainsi que par des mesures actives entreprises par les hommes (système de sécurité active).

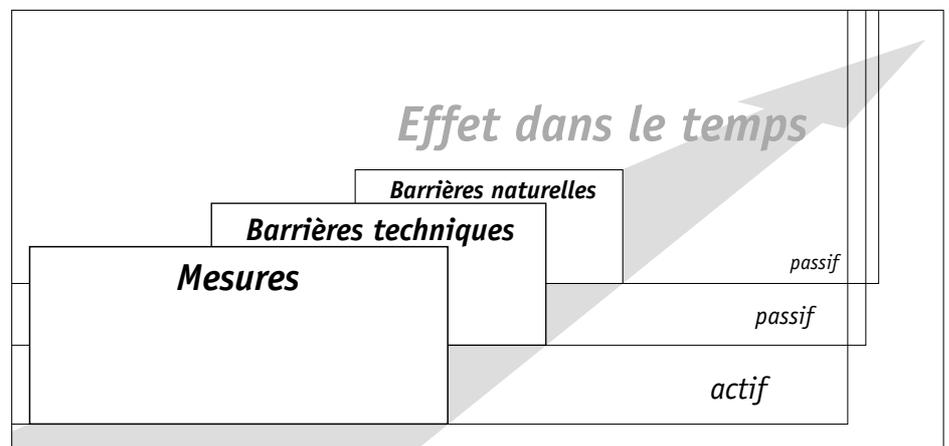


Figure 7 : Système de sécurité appliqué à l'entreposage des déchets radioactifs

Les différentes barrières ont les fonctions suivantes :

- confiner les radionucléides aussi longtemps que possible (si possible jusqu'à la désintégration des radionucléides avec le temps) ;
- limiter la libération de radionucléides ;
- protéger les déchets contre des interventions intempestives humaines (non-prolifération, crises, etc.) et contre les influences extérieures (p.ex. chutes d'avions, inondation, tremblements de terre, etc.).

#### 4.3.1 Barrières naturelles

Les barrières naturelles comprennent la géosphère, la roche d'accueil et les alentours immédiats, ou " champ proche " (voir annexe 1).

Géosphère

Si des substances radioactives s'échappent du dépôt final dans la roche d'accueil, la géosphère ralentit leur migration vers la biosphère. De ce fait, la géosphère prolonge le temps de confinement des substances radioactives, jusqu'à ce que la désintégration des radionucléides. En outre, la géosphère contribue à la dilution des radionucléides s'échappant de la zone du dépôt, dans la mesure où l'eau souterraine qui sortant de la zone se mélange avec d'autres eaux souterraines.

Roche d'accueil

La roche d'accueil constitue la barrière la plus importante à long terme contre la migration des radionucléides : elle en ralentirait le transport par sorption et diffusion dans la matrice d'enrobage. De par sa faible perméabilité à l'eau, la roche d'accueil limite l'arrivée d'eau jusqu'aux barrières techniques.

Champ proche

Le champ proche fait partie intégrante de la roche d'accueil et il est directement en contact avec les barrières techniques. La mise en œuvre de mesures techniques simples dans le champ proche peut prévenir un accès humain intempestif jusqu'aux déchets.

Propriétés mécaniques de la roche d'accueil

##### a. Mécanique des roches (stabilité des cavités souterraines)

Les cavités creusées dans le sous-sol constituent une atteinte aux formations rocheuses ; elles sont exposées aux tensions : compression due à la profondeur, forces tectoniques qui s'exercent, en particulier dans les formations rocheuses jeunes. Du fait de la présence de cavités artificielles, les tensions provoquent une déformation des couches rocheuses environnantes, sous la forme d'une convergence plus ou moins marquée. L'ampleur de cette déformation dépend de

la plasticité du massif rocheux, laquelle est à son tour influencée par :

- la plasticité de la roche,
- la fissuration,
- les matières – air, eau ou limon – éventuellement présentes dans les fissures.

Certaines formations rocheuses telles que l'argile (argile à opalines) ou le sel réagissent de manière plastique. Cela signifie que, sans contre-mesures, les cavités créées dans le massif se déforment rapidement et peuvent se refermer en relativement peu de temps (sel). Dans les massifs rocheux moins plastiques, constitués par exemple de roches granitiques, les déformations sont nettement moins prononcées. Dans ce cas, il arrive même que le massif rocheux autour d'une cavité rétablisse un état pseudo stable.

Les sections d'excavation relativement petites et statiquement optimisées destinées à des galeries et à des cavernes sont soumises à de plus faibles déformations que les grandes cavernes présentant des profils défavorables.

Sécurité contre les  
tremblements de terre

L'expérience montre que les constructions souterraines sont généralement résistantes aux tremblements de terre. Pour ce qui est des effets géotechniques et hydrogéologiques, le lecteur est renvoyé au rapport du Groupe de travail technique Wellenberg (TAG 1998).

Structures encastrées

On peut éviter les déformations des cavernes de stockage situées dans l'argile par un comblement rapide, compact et solidaire du massif environnant. Dans les formations plutôt élastiques, les phénomènes sont plus lents et moins prononcés : des structures encastrées plus légères suffisent. Dans l'optique de stratégies de stockage des déchets radioactifs dans des dépôts en profondeur, cela signifie que :

Les galeries et les puits d'accès dans les massifs argileux doivent être renforcés au moyen de structures circulaires solidaires de la voûte. La structure encastrée assure l'étanchéité ou le drainage des eaux souterraines (voir plus bas).

Ces structures encastrées ont une importance d'autant plus grande que les cavités doivent rester ouvertes longtemps. Dans le cas de dépôts de longue durée, il faut envisager la nécessité d'entretenir le revêtement. Dans les dépôts durables (en profondeur), la stabilité de l'ensemble de l'ouvrage dépend de la stabilité de la roche et de la longévité des structures mises en place.

Une vaste étude de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (Wegmüller et Chabot, 1997) a montré que l'application de techniques spéciales (rétention de l'eau, additifs ajoutés au béton), permet de prolonger la longévité d'ouvrages souterrains consolidés de cette façon.

Dans les cavernes de stockage proprement dites, la rapidité d'exécution des travaux d'excavation, de mise en décharge des déchets et de comblement des cavités résiduelles permet de garantir la stabilité du massif rocheux sans qu'il soit nécessaire d'y introduire des structures massives de consolidation. Cela est particulièrement important dans les roches d'accueil argileuses (p.ex. argile à opalines), car ici, les revêtements de béton sont peu recommandés (caractéristiques géochimiques). Dans d'autres types de roche, la mise en place de structures pourrait aussi se faire dans des cavernes de stockage dans l'idée de garder les cavités ouvertes plus longtemps. Une telle démarche n'est cependant pas obligatoire parce que le comblement des cavités ne pose pas de gros problèmes dans la perspective de la récupération des déchets.

Dans l'intérêt de la sécurité (notamment de la limitation de la zone ameublie), les cavernes de stockage d'un dépôt en profondeur devraient être comblées aussi rapidement que possible ; les galeries d'accès devraient être consolidées durant l'exploitation du dépôt et son observation par la mise en place de structures encastrées.

*b. Eau souterraine*

De l'eau s'infiltré toujours dans des cavités qui se trouvent presque chaque fois au-dessous du niveau de l'eau souterraine. Cependant, l'apport d'eau est très faible dans les roches d'accueil peu perméables choisies pour accueillir un dépôt en profondeur. Les galeries ou les puits d'accès menant aux dépôts traversent cependant des zones "humides", plus perméables, présentant des venues d'eau relativement importantes et des pressions hydrostatiques parfois élevées.

ées. Comme les cavernes doivent être maintenues sèches, l'eau qui afflue doit être drainée et, le cas échéant, pompée dans la mesure où elle ne peut pas être écartée (inétanchéité).

Drainage de l'eau souterraine

Le drainage de cette eau dans les ouvrages souterrains crée un puits hydraulique ; cela signifie que de l'eau afflue de tous les côtés vers la cavité. Dans les massifs peu perméables, tels ceux qui ont été explorés dans l'optique du stockage des déchets radioactifs, l'effet de drainage sur les massifs environnants est cependant très faible. Néanmoins, pour les stratégies de stockage envisagées ici, l'ouverture prolongée des accès et des galeries suppose une retenue d'eau sous la forme de drainages et de pompages. L'eau courante perturbera à long terme les installations et les structures, qui nécessitent un entretien adéquat.

"Assèchement" du massif rocheux

En principe, un drainage même léger de la roche d'accueil n'est pas recommandé dans la mesure où il risque de provoquer une désaturation partielle de la roche au voisinage immédiat des ouvrages souterrains. L'eau de drainage risque en outre d'amener des polluants dans l'environnement.

Pompage de l'eau des fouilles

Pendant la phase d'exploitation des dépôts dont l'accès est horizontal (p.ex. Wellenberg), l'eau peut être déversée à l'extérieur à travers la galerie d'accès. Dans les dépôts en profondeur auxquels on accède par des puits, l'eau souterraine doit être pompée à la surface. Une panne des pompes entraînerait l'inondation du dépôt et des accès. Dans les deux cas, le drainage comporte le risque d'émissions polluantes.

Pour cette raison, il est judicieux de combler et de fermer les cavernes de stockage peu de temps après la mise en place des déchets, et de combler également les drainages (par injection).

c. *Aération (ventilation)*

Lorsqu'ils sont ouverts, les accès aux dépôts doivent être ventilés. Tout comme l'eau dans les circuits de drainage, l'air peut être un véhicule de polluants gazeux.

### 4.3.2 Barrières techniques

Les barrières techniques d'un dépôt de déchets comportent trois éléments :

Matrice d'enrobage des déchets

La morphologie des déchets et leur conditionnement assurent une première protection. Les déchets radioactifs sont solidifiés au moyen de matériaux appropriés pour former une matrice résistante au lessivage. Dans le cas des déchets faiblement et moyennement radioactifs (SMA), cette matrice se compose généralement de ciment ou de bitumes. Les déchets hautement radioactifs (HAA) issus du retraitement sont circonscrits dans une matrice de verre. Ce dispositif permet d'empêcher la libération des radionucléides, même en cas de corrosion des conteneurs des déchets entraînant la mise en contact de la matrice avec la nappe phréatique.

Conteneurs de déchets

Les conteneurs de déchets sont constitués d'un assemblage de fûts d'acier, d'un conditionnement éventuel et de matériaux de remplissage. Ils forment la deuxième barrière. Pendant un temps donné, ils encapsulent hermétiquement les déchets. Au-delà, une chimie favorable assure la limitation de la solubilité et de la sorption des radionucléides.

Comblement des espaces vides d'un dépôt

Les cavités vides des dépôts sont comblées au moyen de matériaux qui limitent l'arrivée d'eau susceptible d'entrer en contact avec les conteneurs, qui retardent la libération de radionucléides dans la géosphère, qui limitent, grâce à des réactions chimiques favorables, la solubilité des radionucléides dans l'eau de la nappe phréatique et qui lient par sorption ces radionucléides au matériau de remplissage. Si les cavités des dépôts ne sont pas comblées, il manque une barrière technique essentielle.

Des types de déchets ou de dépôts différents nécessitent des barrières techniques et l'emploi de matériaux variés. Les considérations de sécurité sont toutefois comparables. Les matériaux choisis pour un projet de dépôt spécifique ne doivent en aucun cas provoquer des modifications géochimiques.

### 4.3.3 Mesures préventives

Outre les barrières naturelles et techniques, la sécurité d'un stockage de déchets radioactifs est assurée par des mesures actives : techniques, organisationnelles et administratives. Une intervention humaine s'avère nécessaire avant, pendant et après la mise en place des déchets, ainsi qu'après la fermeture des dépôts. Celle-ci comprend notamment la surveillance et le contrôle des déchets, ainsi que leur récupération le cas échéant.

#### a. Surveillance et contrôle

L'efficacité des mesures de surveillance et de contrôle dépend du lieu et du moment auxquels elles s'appliquent :

- Dans un dépôt durable (DL), la surveillance et le contrôle sont possibles en tout temps et nécessaires pour la sécurité du dépôt.
- Dans un dépôt final (encore) ouvert, une surveillance interne est possible. Les cavernes de stockage peuvent être surveillées grâce à l'aménagement de galeries d'accès ou de galeries annexes.
- Après la fermeture d'un dépôt final, seule reste possible une surveillance externe depuis la surface. Mais à terme, aucun capteur ne peut être utilisé depuis la surface en direction du dépôt final, en raison de sa longévité insuffisante.

Le chapitre 5 présente le modèle du stockage géologique durable contrôlé (KGL) qui prévoit l'aménagement d'un dépôt pilote. L'aménagement de ce dépôt pilote permet de déterminer les principaux paramètres utiles (température ambiante, pressions, hydrologie et émissions) dans des conditions analogues à celles du dépôt principal. Une surveillance est donc possible *in situ* et à proximité des cavernes de stockage. En rapport au dépôt principal, le dépôt pilote permet de :

- contrôler l'efficacité des barrières techniques et naturelles ;
- réparer ou améliorer les barrières techniques en vue d'augmenter la sécurité à long terme ;
- prendre les mesures d'assainissement nécessaires au cas où des radionucléides s'échapperaient du dépôt dans le champ proche ou dans la géosphère.
- récupérer le cas échéant les déchets entreposés dans le dépôt pilote ou dans le dépôt principal.

Raisons possibles	<p><i>b. Récupération</i></p> <p>Plusieurs motifs peuvent rendre souhaitable ou nécessaire de récupérer les déchets :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– la <i>sécurité</i> : un incident ou un comportement non satisfaisant contraignent les autorités à refuser l’octroi de l’autorisation de fermeture d’un dépôt ;</li> <li>– la <i>vérification</i> : récupération des déchets entreposés dans un dépôt test, validation partielle de modèles ;</li> <li>– le <i>traitement des déchets</i> : réutilisation des déchets comme ressources, séparation et transmutation, nouvelle technologie de solidification des déchets ;</li> <li>– placement dans un <i>nouveau dépôt</i> : implémentation d’un nouveau modèle de dépôt “ meilleur ”, adoption d’une solution internationale ;</li> <li>– <i>autre affectation du sous-sol</i> : exploitation de matières premières, construction d’un tunnel, etc.</li> </ul>
Etats de dépôts et récupération	<p>Trois cas de figure dans la configuration d’un dépôt ont une incidence directe sur la récupération possible des déchets :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Les conteneurs de déchets sont empilés ou descendus dans des cavernes ouvertes ; les accès restent ouverts : il est alors facile de récupérer les déchets au moyen des engins mêmes dont on se sert pour les entreposer ;</li> <li>2. Les cavernes de stockage sont comblées et scellées, les cavités entre les conteneurs de déchets et le champ proche sont comblées ; les accès restent ouverts : la récupération reste facile par des techniques d’extraction classiques. Le matériau de remplissage d’un dépôt de longue durée ou d’un dépôt final est formé de bentonite ou de mélanges à base de bentonite pour les déchets hautement radioactifs ou de mortier relativement mou pour les déchets faiblement et moyennement radioactifs. Dans les deux cas, le remplissage peut être aisément fraisé.</li> <li>3. Les conditions sont les mêmes que dans le cas précédent mais les accès sont fermés et scellés (dépôt final) : dans ce cas, la récupération est techniquement plus complexe et plus coûteuse. Pour accéder jusqu’aux dépôts en profondeur, de nouveaux accès sont réalisés aux moyens des techniques usuelles de creusement de mines. Il faut cependant accorder un soin tout particulier à la radioprotection. Dans le dépôt lui-même, il est possible</li> </ol>

d'extraire les déchets par les mêmes techniques minières que celles qu'on pratique dans l'extraction d'uranium (robots).

A long terme, la récupération des déchets (modèles 1 et 2) pourrait entraîner un risque nouveau, notamment en ce qui concerne les matériaux sensibles tels que le plutonium et l'uranium fissiles (p.ex. dans des situations de crise, il pourrait y avoir détournement de l'usage de certains déchets). Il est ainsi peu logique de garder les cavernes de stockage ouvertes pour des questions de récupération seulement. Ceci vaut d'autant plus que techniquement, leur comblement ne complique pas trop la récupération des déchets.

Entre la récupération de déchets par des galeries ou des puits d'accès restés ouverts et la réouverture d'un dépôt final, il y a certes des différences techniques, économiques et psychologiques lourdes de conséquences. Il faut néanmoins souligner qu'en dépit de ces obstacles, il est toujours possible de récupérer les déchets, même dans le modèle 3.

#### **4.4 Phases de stockage**

Dans ce rapport, nous distinguons les phases opérationnelles suivantes dans le processus de stockage :

- exploration, conception et planification
- construction
- exploitation et observation avec
  - tests et mise en dépôt (GEL, KGL et DL)
  - observation (KGL et DL)
- phase postérieure à la fermeture (GEL et KGL)

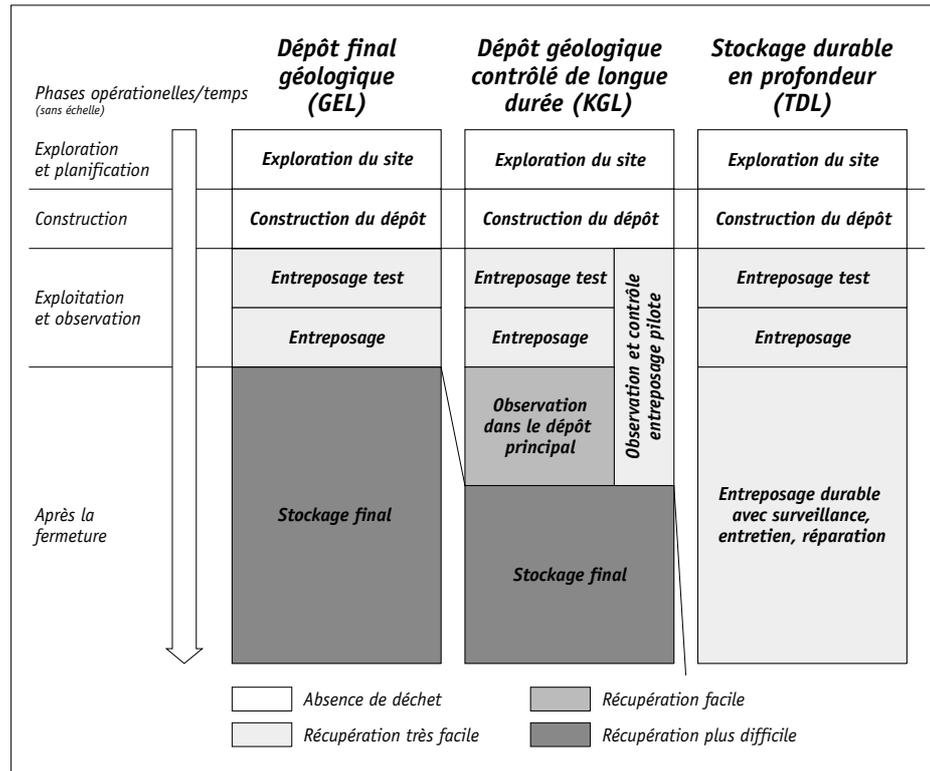


Figure 8 : Phases opérationnelles du stockage des déchets et complexité de la récupération des déchets placés dans des dépôts en profondeur en fonction de différentes phases

a. *Phase exploratoire et phase de conception ; phase de construction*  
 Avant même de stocker des déchets dans un dépôt en profondeur, diverses investigations sont nécessaires :

- l'étude de la roche d'accueil dans un laboratoire souterrain (p.ex. Mont Terri, galerie de sondage du Wellenberg) ;
- la recherche fondamentale intensive dans des programmes nationaux et internationaux (p. ex. l'analyse d'analogies naturelles visant à améliorer la fiabilité de prévisions à long terme) ;
- la construction d'un laboratoire souterrain et celle d'un dépôt test et/ou pilote sur le site de stockage prévu.

b. *Phase d'exploitation et d'observation*

Au début de la phase d'exploitation, le dépôt test (GEL et KGL) et le dépôt pilote (KGL) entrent en fonction. Une fois le justificatif de sécurité acquis, les déchets sont placés dans le dépôt principal. Dans le cas d'un stockage final classique (GEL), les cavernes et les galeries d'accès sont fermées le plus rapidement possible. Dans le cas d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL), les cavernes sont

Tester les déchets et les placer dans le dépôt

également fermées ; en revanche, les accès restent ouverts durant toute la phase d'observation.

Observer

Dans le cas d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL), l'observation et le contrôle s'effectuent principalement dans le dépôt pilote mais aussi, dans la mesure du possible, dans le dépôt principal. D'autres mesures sont envisageables dans le dépôt pilote, telles que par exemple la récupération expérimentale des déchets. A la fin de la phase d'observation, on convient soit de fermer et sceller le dépôt principal, soit d'en retirer les déchets.

Pendant la phase d'observation, le dépôt en profondeur doit être drainé et l'eau pompée. Cela a pour conséquence de drainer la roche d'accueil dans la direction du dépôt et de diminuer la pression dans la nappe phréatique. Il se produit alors un dégazage des substances contenues dans l'eau et éventuellement un assèchement du massif rocheux dans la zone du dépôt.

Fermeture

Si la surveillance est de l'ordre de quelques dizaines d'années ou plus, il faut concevoir le dépôt principal du KGL de manière à pouvoir le fermer à tout moment sans trop tarder. Une telle éventualité pourrait devenir impérative si la surveillance était interrompue de manière incontrôlée, ce qu'on ne saurait exclure et qui pourrait être dû à toutes sortes de raisons.

c. *Phase postérieure à la fermeture*

Saturation

Après fermeture du dépôt principal et sa transformation en dépôt géologique final, les galeries d'accès sont comblées et scellées. Il se produit une saturation complète du champ proche. La durée de cette saturation dépend des propriétés hydrauliques de la roche d'accueil (perméabilité) et, dans le cas des déchets hautement radioactifs, de la production de chaleur.

Les mesures suivantes sont encore nécessaires ou envisageables après la fermeture du dépôt principal :

- exploitation à long terme du dépôt pilote (indépendant du dépôt principal) de manière à contrôler les paramètres de stockage (alarme précoce, contrôle des incidents, etc.) ;
- télé-observation de la zone de stockage (*remote sensing*) ;
- observation à long terme de l'environnement ;

- transmission et préservation des connaissances techniques en matière de déchets radioactifs et relatives au dépôt et au site sur lequel il est implanté (afin p. ex. d'éviter des forages intempestifs) ;
- mesures de protection (notamment contre tout accès non autorisé).

Plusieurs centaines d'années (SMA), voire plusieurs dizaines de milliers d'années (HAA) s'écoulent vraisemblablement jusqu'à la migration de radionucléides hors du remblai, c'est-à-dire jusqu'à l'espace qui sépare les barrières techniques des barrières naturelles. On estime donc aujourd'hui qu'une fois les dépôts définitivement fermés (dépôt principal et dépôt pilote ainsi que les galeries d'accès), il n'y a lieu de prévoir qu'une observation environnementale, c'est-à-dire une mesure de la radioactivité de l'eau de source.

## 5. Modèle du stockage géologique durable contrôlé (KGL)

*Ce chapitre développe le modèle du stockage géologique durable contrôlé, modèle qui repose sur les exigences et les conditions générales décrites aux chapitres 3 et 4*

### 5.1 Conception technique

La description qui suit donne une conception technique possible du stockage géologique durable contrôlé (KGL).

Éléments du système

Le modèle du stockage géologique durable contrôlé associe trois dépôts formant système : un dépôt test, un dépôt principal et un dépôt pilote (fig. 9). La configuration réelle des dépôts doit être adaptée au site envisagé et évoluer progressivement au fur et à mesure de l'avancement du projet. Les trois éléments du système doivent remplir les buts suivants :

Dépôt test

Le dépôt test est construit pendant et/ou immédiatement après l'exploration du site. Il sert de laboratoire souterrain spécifique au site et permet d'effectuer les investigations nécessaires pour construire le justificatif de sécurité préalable à l'autorisation d'exploitation du dépôt principal. Le dépôt test peut continuer à être exploité, en complément du dépôt pilote, après la mise en service du dépôt principal.

Le dépôt test permet l'étude ciblée des processus ayant une incidence sur la sécurité se déroulant dans le dépôt principal. On reproduit à cet effet dans le dépôt test des éléments d'installations du dépôt principal. Les questions en suspens peuvent être étudiées au moyen d'expériences spécifiques réalisées dans le laboratoire souterrain. Des éléments thermiques permettent de simuler la production de chaleur par les déchets ; des traceurs appropriés de radionucléides servent à étudier les phénomènes de transport (essai de migration), et des conteneurs de déchets vides permettent d'étudier des processus chimiques dans les conditions du stockage final.

Dépôt principal

Le dépôt principal est construit dans la roche d'accueil ; c'est lui qui est destiné à accueillir la majeure partie des déchets. Pour garantir la sécurité à long terme, le choix du site et la roche d'accueil doivent répondre à des

exigences précises. L'architecture du dépôt (système et géométrie des cavernes), son aménagement et son comblement doivent être conçus et exécutés de manière à ce que la récupération des déchets reste techniquement simple.

Une fois les déchets mis en place, les cavernes sont immédiatement comblées. Les puits et les galeries d'accès, ainsi que les espaces prévus pour la surveillance et le contrôle du dépôt, restent ouverts pendant la phase d'observation ; il importe donc d'en renforcer les structures. Pendant les phases d'exploitation et d'observation, les parties ouvertes du dépôt doivent être drainées et entretenues.

Afin de garantir la sécurité pendant la longue phase d'observation, il est important de prévoir des dispositifs permettant de fermer rapidement le dépôt en période de crise. Des équipements spéciaux peuvent être prévus dans la zone d'accès (p.ex. des sondes) pour surveiller le champ proche durant l'observation et l'exploitation. Ces équipements ne doivent cependant pas fragiliser la sécurité à long terme du dépôt (en créant par ex. des liaisons hydrauliques directes (courts-circuits) avec la biosphère).

#### Dépôt pilote

Le dépôt pilote remplit plusieurs fonctions à long terme :

- il permet de surveiller le comportement à long terme des barrières techniques et du champ proche ;
- il confirme les modèles théoriques appliqués pour établir le justificatif de sécurité à long terme ;
- il sert de dépôt témoin et permet d'exercer un contrôle de longue durée, au-delà de la fermeture du dépôt principal.

Longtemps après la fermeture du dépôt principal, il doit être possible de pratiquer dans le dépôt pilote certaines expériences de destruction des installations pour mieux connaître l'évolution des équipements du système de stockage final, sans porter atteinte à la sécurité du dépôt principal. Mais comme dans ce cas l'intégrité du dépôt pilote ou de certaines de ses parties ne pourrait plus être garantie par la suite, il faudrait récupérer les conteneurs de déchets touchés et les évacuer d'une autre façon.

Les résultats obtenus dans le dépôt pilote, mis en rapport avec ceux collectés dans le dépôt test et dans le dépôt principal durant sa phase de construction et d'exploitation, fournissent les bases indispensables pour confirmer la sécurité à long terme du système de stockage. Une évaluation

détaillée de ces résultats est la condition *sine qua non* pour approuver la fermeture du dépôt principal.

En outre, les études effectuées dans le dépôt pilote livrent des bases décisionnelles quant à la nécessité ou non de récupérer des déchets dans le dépôt principal pour des questions de sécurité.

Sur la base des observations effectuées dans le dépôt pilote, il est possible de procéder aux interventions suivantes dans le dépôt principal :

- contrôle des barrières techniques et, partiellement, des barrières naturelles ;
- réparation et mesures d'amélioration des barrières techniques ;
- mesures d'assainissement en présence d'excursions inattendues de radionucléides dans le champ proche ou dans la géosphère ;
- récupération des déchets.

Le dépôt pilote est construit et exploité avant le dépôt principal ; il doit en être entièrement isolé sur le plan hydraulique.

## 5.2 Mise en application possible

La réalisation d'un dépôt géologique durable contrôlé (KGL) présuppose que les investigations de site ont été effectuées avec succès. La construction, l'exploitation et la fermeture réglementaires du dépôt nécessitent en outre des structures de projet et de contrôle indépendantes, qui doivent être chargées de surveiller la qualité de la planification et de l'exécution et, si besoin, d'y apporter des correctifs. Ouverture, transparence et compétence technique permettront de gagner la confiance de la société et de créer un consensus propice. Cela requiert un mode d'information et de communication exemplaire qu'il s'agira de maintenir pendant toute la période d'exploitation du dépôt.

Les structures de projet doivent elles-mêmes être protégées le mieux possible contre les crises sociales potentielles. Dépression économique, conflits armés, terrorisme et épidémies doivent être considérés comme des *scenarii* particulièrement menaçants. Vu l'étendue des dommages potentiels, ces menaces impliquent une prévention générale méticuleuse, notamment en ce qui concerne les incidents.

Phase exploratoire et de planification

La phase d'exploration et de planification du dépôt comporte notamment l'exploration et la caractérisation du site ainsi que la conception et la planification des différentes composantes du dépôt. Parallèlement, il y a lieu de régler les modalités de surveillance du travail et du contrôle de la qualité. La planification et la construction commencent lorsque l'étude du site a abouti à un résultat positif.

Phase de l'exécution des travaux

On construit tout d'abord le dépôt test et le dépôt pilote. Le dépôt principal est réalisé par étapes pendant la phase d'exploitation et d'observation.

Phase d'exploitation et d'observation

Cette phase commence par l'exploitation du dépôt test et du dépôt pilote. La gestion des incidents doit pouvoir entrer en action dès le début.

*Dépôt test* : l'exploitation du dépôt test permet d'établir le justificatif de sécurité pour le dépôt principal. Sur la base des résultats obtenus, on déterminera définitivement la configuration du dépôt principal.

*Dépôt pilote* : c'est là que sont conçus et mis en pratique la surveillance et le contrôle de l'installation et du champ proche. Les résultats sont transférés au dépôt principal et, le cas échéant, vérifiés sur le site.

*Dépôt principal* : Si les tests d'exploitation donnent des résultats positifs, il est possible de passer à l'étape suivante. On réalise alors entièrement les zones d'accès et d'exploitation du dépôt principal et partiellement, dans un premier temps, les zones de stockage des déchets. D'autres cavernes de stockage peuvent être réalisées et testées au fur et à mesure et en fonction des besoins de place.

La construction exige un suivi minutieux des travaux, absolument nécessaire pour garantir la qualité de leur exécution. Parallèlement, on élabore la planification intégrale des mesures actives et passives.

Une fois délivrée l'autorisation d'exploiter les cavernes, l'exploitation proprement dite du dépôt principal commence avec la mise en dépôt des déchets.

Dès que les déchets sont mis en dépôt, les cavernes de stockage du dépôt principal sont immédiatement comblées et scellées. En revanche, les galeries d'accès et de desserte restent ouvertes afin de faciliter l'accès à la zone de stockage et à son champ proche. Les accès et les galeries ouverts doivent être drainés. Durant cette phase, il reste possible de récup-

érer les déchets sans beaucoup de difficultés techniques ni de frais. La gestion des perturbations doit être prête.

#### Fermeture et phase ultérieure

La fermeture définitive des galeries d'accès et de desserte du dépôt principal s'effectue à la fin de la phase d'exploitation et d'observation, qui peut durer de quelques dizaines d'années à plus d'un siècle. Durant cette période, il est possible de valider les modèles de sécurité. La fermeture définitive du dépôt principal requiert elle aussi une analyse de sécurité.

Il est plausible que le dépôt pilote reste ouvert et que sa fermeture intervienne plus tard que celle du dépôt principal. La décision à ce sujet appartiendra aux générations futures.

Les tâches s'effectuant sur le long terme, comme la tenue des archives et le transfert des connaissances techniques, éventuellement la surveillance à l'aide de systèmes passifs, se poursuivent après la fermeture du dépôt géologique durable contrôlé et sont prises en charge par les pouvoirs publics.

L'état de la recherche est moins avancé pour les différents éléments d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL) que pour un dépôt géologique final. Ce retard doit être comblé notamment en ce qui concerne la construction d'un dépôt pilote et la mise en place des systèmes de sécurité pendant la phase d'exploitation et d'observation.

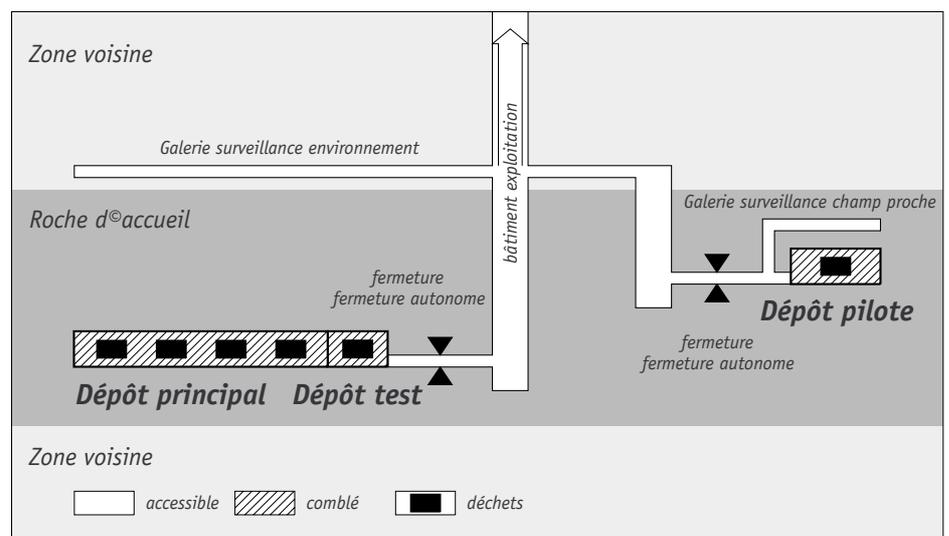


Figure 9 : Modèle schématique d'un KGL : éléments du système

### 5.3 Planification des mesures

Le chapitre 5.2 esquisse une démarche possible dans la réalisation technique et scientifique du stockage géologique durable contrôlé (KGL). Les considérations suivantes mettent en évidence la nécessité d'élaborer un programme global et cohérent de mesures à prendre, qui vise principalement à :

- garantir un niveau de qualité élevé dans la planification générale ainsi que dans la planification des programmes sectoriels spécifiques (configuration du dépôt, comblement, fermeture, scellement, etc.) ;
- élaborer des programmes de surveillance et de contrôle pour les phases de construction, d'exploitation, d'observation du dépôt , ainsi qu'au-delà de sa fermeture ; en différenciant les parties importantes de l'installation, les systèmes techniques et l'environnement (en particulier le champ proche) ;
- élaborer des programmes d'assurance qualité pour les différentes phases de stockage et pour les différentes parties du programme (exécution des travaux, surveillance, contrôle, gestion des données, etc.) ;
- mettre en place un dispositif de gestion des perturbations (y compris la récupération des déchets) dès la phase d'exécution des travaux ;
- garantir les ressources financières, la disponibilité des informations nécessaires sur le dépôt, le marquage du dépôt et la transmission des connaissances techniques ;
- élaborer les procédures d'information et de communication, absolument nécessaires pour gagner la confiance.

## 6. Evaluation des modèles de stockage

Ce chapitre fait une évaluation comparative des modèles de stockage présentés aux chapitres 4 et 5, à savoir :

- *stockage durable en surface (ODL)*
- *stockage de longue durée en surface (OLZL)*
- *stockage final en surface (OEL)*
- *stockage durable en profondeur (TDL)*
- *stockage géologique durable contrôlé (KGL)*
- *dépôt géologique final (GEL)*

Ces modèles se distinguent en premier lieu par leurs systèmes de sécurité. La figure 10 récapitule les barrières et les mesures caractéristiques (en gris). L'efficacité de ces barrières et de ces mesures dans le temps est commentée au chapitre 4.

		Stockage en surface			Stockage en profondeur		
		ODL	OLZL	OEL	TDL	KGL	GEL
<b>Mesures préventives</b>							
<b>Barrières techniques :</b>	Matrice et conteneurs de déchets						
	Comblement du dépôt						
<b>Barrières naturelles</b>	Champ proche, roche d'accueil, géosphère						

Figure 10 : Systèmes de sécurité entrant en ligne de compte dans les modèles de stockage considérés. En gris : la barrière ou la mesure fait partie intégrante du modèle

## 6.1 Bases de l'évaluation

### a. Démarche

Pour comparer les modèles de stockage, il est nécessaire de considérer la sécurité dans sa globalité et de prendre en compte toutes les phases du stockage postérieures à la construction :

- phase d'exploitation et d'observation avec
  - les tests et le stockage des déchets
  - l'observation (surveillance et contrôle)
- phase postérieure à la fermeture des dépôts

Nous avons choisi de faire une évaluation en deux étapes :

- La sécurité est le tout premier critère d'évaluation. Par conséquent, il faut déterminer en premier lieu le niveau de sécurité qu'il est possible d'atteindre dans la phase d'exploitation et d'observation et dans celle qui suit la fermeture d'un dépôt. L'analyse part de l'hypothèse selon laquelle tous les modèles de stockage visent à atteindre un niveau de sécurité élevé. Lorsqu'on considère la sécurité dans sa globalité, il faut envisager non seulement le niveau atteint, mais encore la période pendant laquelle les risques résiduels demeurent. Dans le cadre de la présente étude, on ne peut en faire qu'une analyse qualitative.
- Ensuite, on inclut dans l'évaluation les autres critères sociaux que sont la marge de liberté laissée aux générations futures, le principe de la responsabilité causale et le degré d'acceptation sociale.

### b. Critères d'évaluation

Le chapitre 3 définit des valeurs et des objectifs du stockage des déchets radioactifs. Ces valeurs et ces objectifs sont ordonnés selon une hiérarchie dont la plus haute est la sécurité :

- sécurité de l'homme et de l'environnement ;
- marge de manœuvre laissée à chaque génération, équité entre couches, groupes de la population et générations ;
- respect du principe de responsabilité causale (pollueur payeur) ;
- acceptation sociale.

### c. Définition des composantes de la sécurité

Sur un plan général, sans fixer de priorité, on peut distinguer les domaines suivants de la sécurité :

1. *Sécurité du travail*

But : protéger la main d'œuvre.

Comprend : sécurité conventionnelle du travail et radioprotection.

2. *Sécurité en cas de perturbation*

But : protéger l'homme et l'environnement contre les incidents aigus provoqués involontairement.

Comprend : sécurité conventionnelle en cas de perturbation et radioprotection.

2.1. *Sécurité en cas d'événements internes*, p.ex. incendie, explosion, déflagrations, effondrement.

2.2. *Sécurité en cas d'événements externes*, p.ex. tremblement de terre, chute de météorite, intempéries, inondations, chutes d'avion.

3. *Sûreté*

But : protection contre les interventions volontaires.

Comprend : protection contre le sabotage et d'autres actions de tiers.

4. *Protection contre les émissions*

But : protéger l'homme et l'environnement contre les atteintes chroniques se produisant durant l'exploitation d'une installation.

Comprend : la protection conventionnelle contre les nuisances et la radioprotection pour les personnes non exposées professionnellement, même en cas d'émission non intentionnelle, chronique, de matières radioactives hors d'un dépôt.

5. *Sécurité de longue durée*

But : protéger l'homme et l'environnement contre les atteintes chroniques se produisant après la cessation de l'exploitation d'une installation.

On dispose de méthodes spécifiques pour étudier ces cinq domaines de sécurité. Les décrire en détail dépasserait cependant le cadre du présent rapport. L'évaluation suivante est de nature qualitative et ne saurait tenue pour une analyse de sécurité au sens de la législation sur l'énergie nucléaire.

d. *Evaluation des systèmes naturels et sociologiques*

Dans les sciences de la Terre, des programmes montrent que la géologie offre en permanence des surprises. Les prévisions géologiques, mais aussi les pronostics portant sur le comportement à long terme des systèmes techniques restent toujours entachés d'incertitudes.

Ce qui est vrai des connaissances scientifiques et la modification de l'image du monde que donnent les sciences naturelles, notamment la géologie, est a fortiori vrai des sciences sociales.

L'évolution socio-politique future est, en général, beaucoup plus incertaine que les événements géologiques (cf. ch. 3). Seuls font exception les changements brusques, tels que les tremblements de terre, dont l'éventualité est prévisible statistiquement, mais non de manière déterministe. Contrairement aux affirmations de la tradition du matérialisme déterministe, il n'est possible ni d'orienter ni de pronostiquer l'avenir de la société à plus ou moins long terme. Les déplacements des frontières en Europe au cours des 200 dernières années en sont un exemple patent.

Ce constat signifie qu'il serait risqué du point de vue d'une analyse de la sécurité de vouloir faire reposer entièrement à long terme un modèle de stockage sur des structures sociales.

Il est possible de prendre des mesures actives pour contribuer à la sécurité du stockage des déchets radioactifs. Ces mesures ne doivent cependant pas prétendre se poser en alternative à l'étude exhaustive et à la garantie de sécurité à long terme d'un dépôt. En outre, les équipements de surveillance et de contrôle ne doivent pas porter atteinte à la sécurité passive du dépôt.

## 6.2 Evaluation de la sécurité

### 6.2.1 Domaines de sécurité

Phase d'exploitation et  
d'observation

#### a. Sécurité du travail

Lorsque les accès et les cavernes restent ouverts pendant la mise en place des déchets et l'exploitation du dépôt, la sécurité du travail dépend davantage de l'organisation de l'exploitation que de la conception du dépôt. Il n'y a donc pas de différence fondamentale entre les différents modèles. Par exemple, les analyses et les expertises fouillées relatives à la sécurité du travail et à la protection contre les accidents dans l'entrepôt intermédiaire de Würenlingen montrent que les dispositions légales peuvent être respectées (DSN/HSK 1995, DSN/HSK 1999, ZWILAG 1994 ; ZWILAG 1997).

Une fois les déchets mis en place et les contrôles et les tests achevés, les cavernes et les lieux de stockage sont comblés (GEL, KGL). Dans le modèle de stockage final (GEL), les puits d'accès et les dessertes sont également comblés et scellés ; dans ce cas, la sécurité ne nécessite plus aucune mesure active.

C'est dans le cas du stockage final (GEL), que le confinement des déchets radioactifs est le plus sûr. On pose donc aux autres modèles de dépôts de longue durée que le GEL (y compris le KGL), des exigences de sécurité d'exploitation plus élevées quant à la radioprotection : les travaux d'entretien et de maintenance doivent être plus nombreux, et, dans le cas du KGL, certaines barrières techniques ne sont efficaces qu'après la fermeture du dépôt.

La figure 11 donne une estimation qualitative de la sécurité des différents modèles de stockage pendant la phase d'exploitation et d'observation, ainsi qu'après la fermeture du dépôt.

Phase d'exploitation et d'observation Tests et entreposage (env. 30 – 50 ans)	Dépôt en surface			Dépôt en profondeur		
	ODL	OLZL	OEL	TDL	KGL	GEL
1. Sécurité au travail						
2.1. Sécurité en cas d'accidents, événements internes						
2.2. Sécurité en cas d'accidents, événements externes						
3. Sûreté						
4. Protection contre les émissions						

Phase d'exploitation et d'observation (durée en décennies ou siècles)	ODL	OLZL	OEL	TDL	KGL	GEL
1. Sécurité au travail			Pas d'activités			Pas d'activités
2.1. Sécurité en cas d'accidents, événements internes	Mesures	Mesures		Mesures	Mesures	
2.2. Sécurité en cas d'accidents, événements externes						
3. Sûreté						
4. Protection contre les émissions						

Phase postérieure à la fermeture et exploitation durable (jusqu'à plus de 100'000 ans)	ODL	OLZL	OEL	TDL	GEL + KGL
1. Sécurité au travail		Pas d'activités	Pas d'activités		Pas d'activités
2.1. Sécurité en cas d'accidents, événements internes					
2.2. Sécurité en cas d'accidents, événements externes					
3. Sûreté					
4. Protection contre les émissions					
5. Sécurité de longue durée					

Faible sécurité	Sécurité limitée	Haute sécurité
-----------------	------------------	----------------

Figure 11 : Estimation qualitative de la sécurité des différents modèles de stockage

Dans les lieux et cavernes de stockage non comblés des dépôts durables et, jusqu'au comblement des cavernes dans le modèle révisé de dépôt élaboré par la GNW pour le Wellenberg, la sécurité du travail dépend essentiellement de l'organisation de l'exploitation et de l'entretien des installations. Ceci vaut, par exemple, pour la stabilité de la zone de stockage, pour l'intégrité des bâtiments de stockage ou pour l'état des installations électriques. La sécurité apportée par les barrières techniques est réduite (fig. 11).

Phase postérieure à la fermeture et exploitation durable

Après quelques siècles, seuls les dépôts durables (DL) sont encore exploités ; se pose alors la question du vieillissement des installations. On ne peut être certain de la manière dont une société future continuera de veiller aux mesures préventives : depuis notre point de vue, on peut estimer que la sécurité du travail n'est pas assurée à long terme.

Conclusion

Si l'on compare la sécurité du travail dans l'ensemble du processus de stockage, le stockage géologique final (GEL) offre la meilleure protection contre les émissions et se présente comme la meilleure solution ; il est suivi par le stockage géologique durable contrôlé (KGL).

*b. Sécurité en cas de perturbations*

Phase d'exploitation et d'observation

Par perturbations on entend les incidents qui peuvent survenir à l'intérieur du dépôt, soit par des causes internes (p. ex. incendie, explosion/déflagration, défaillance technique, accident du travail, etc.), soit par des causes externes (p. ex. chute d'avion, météorite, phénomène météorologique, tremblement de terre, inondation, etc.).

Un dépôt durable (DL) est comparable à un dépôt intermédiaire, resté en activité au-delà de quelques dizaines d'années. Des études poussées ont montré que la sécurité pourrait alors être assurée, sous réserve d'une conception et d'une organisation adéquate du dépôt. Conformément à la législation actuelle, une organisation d'urgence serait constituée et maintenue pendant la durée d'exploitation pour parer aux accidents éventuels.

En règle générale, les dépôts durables en profondeur (TDL) offrent alors une meilleure sécurité passive que les dépôts durables en surface (ODL). On notera cependant que l'intégrité de la morphologie des déchets et des lieux de stockage est moins bien garantie dans

les dépôts ouverts que dans les dépôts fermés (GEL et KGL) et que, même si la surveillance, l'entretien et la récupération sont plus aisés, l'avantage que cela procure en matière de prévention des accidents ne compense pas le risque plus grand que constitue le report de la fermeture du dépôt. Au-delà de quelques dizaines d'années et à l'échelle d'un siècle environ, la stabilité des accès aux dépôts et celle des bâtiments d'entreposage devient problématique, ainsi que le maintien hors d'eau des édifices souterrains en cas de défaillance des systèmes de drainage.

c. *Sûreté*

Phase d'exploitation et d'observation

La sûreté ne peut être appréhendée que par des analyses à court terme. Les risques varient en effet ici en fonction du cadre socio-politique et sont difficiles à anticiper à long terme. Les questions de sûreté – en particulier dans l'optique de la prolifération – doivent ainsi être résolues avec souplesse et doivent sans cesse être réévaluées. On comprend donc que le thème soit débattu au niveau international sur les plans politique et technique et fasse l'objet de diverses conventions internationales.

Durant la phase d'exploitation, les mesures de sûreté sont plus faciles à mettre en œuvre dans les ouvrages souterrains que dans les dépôts en surface (figure 11). C'est pourquoi on prévoit par exemple en cas de guerre de fermer les cavernes et les accès aux dépôts le plus rapidement possible.

Phase postérieure à la fermeture et exploitation durable

Dans le modèle de stockage final (GEL), la sûreté du dépôt est garantie par la difficulté d'accéder au dépôt fermé et scellé ; seul un projet de récupération planifié et exécuté au prix de grands moyens permet d'atteindre les déchets. Dans le cas de dépôts durables (DL) restés ouverts, le matériel sensible peut être récupéré à tout moment et de manière assez simple.

d. *Protection contre les émissions*

Pendant la mise en dépôt

De même que la sécurité du travail, la protection contre les émissions pendant la phase de mise en place des déchets et d'exploitation d'un dépôt est très similaire pour les différents types d'installations. Les diverses parties du dépôt et les cavernes ouvertes doivent être ventilées.

Après la mise en dépôt

Une fois les déchets mis en place, la situation se présente de manière différente :

- Les dépôts durables ouverts continuent d'être ventilés, avec le risque latent d'un transport de la radioactivité dans l'atmosphère. Il est en revanche peu vraisemblable que des radionucléides s'échappent par des écoulements d'eau aussi longtemps que les installations sont correctement entretenues et drainées ; ce qui peut être fait pendant plusieurs décennies.
- Dans un stockage de longue durée en surface (OLZL), un stockage final en surface (OEL) et dans le modèle révisé de dépôt élaboré pour le Wellenberg, une fois l'espace de stockage comblé, les excursions de radioactivité sont plus faibles que dans un dépôt durable.
- Dans un stockage géologique durable contrôlé (KGL), les cavernes de stockage sont immédiatement comblées ; en revanche, les accès (puits, entrée) ainsi que le dépôt pilote demeurent ouverts. Cela peut entraîner la création d'un puits hydraulique qui conduise des polluants par voie aquatique vers le fond de la fouille. Dans ce modèle, le niveau des émissions dépend essentiellement de la perméabilité à l'eau de la roche d'accueil, de l'intégrité des fûts de déchets et de la durée de la phase d'observation. La teneur en polluants du fond de la fouille est un indice de l'intégrité du dépôt.
- Dans un stockage géologique final (GEL), il n'y a pas de puits hydraulique puisque les cavernes et les accès sont comblés et scellés dès la mise en place des déchets. Le transport de polluants par des gaz ou par l'eau est donc fortement réduit.

Phase postérieure à la fermeture et exploitation durable

Une fois les cavernes et accès fermés et scellés, la sécurité est aussi grande dans le modèle de stockage géologique durable contrôlé (KGL) et dans le modèle révisé de dépôt élaboré pour le Wellenberg, que dans celui de stockage géologique final (GEL). Par contre, dans les cas d'un dépôt de surface et d'un dépôt durable en profondeur (TDL), la question de l'intégrité des ouvrages de stockage reste problématique pendant toute la période considérée.

e. *Sécurité de longue durée*

Phase postérieure à la fermeture et exploitation durable

La sécurité de longue durée des dépôts de surface n'est garantie, notamment en raison des risques de catastrophes naturelles, des processus d'érosion ou des conflits et guerres. Comme il est impossi-

ble de s'assurer de la stabilité de la société sur de longues périodes, on peut douter que des dépôts en surface et des dépôts durables en profondeur (TDL) puissent être exploités de manière sûre sur le long terme. Dans ces modèles de stockage, il faudrait renouveler l'enveloppe des déchets ou les reconditionner après une période plus ou moins longue.

En outre, si l'on admet que le combustible usé n'est pas retraité, son entreposage direct dans des dépôts en surface ou dans des dépôts durables souterrains risque de faciliter un accès non souhaité aux déchets, ce qui va à l'encontre du principe de non-prolifération.

Dans l'état actuel des connaissances, la sécurité à long terme ne peut être assurée que par une combinaison de barrières naturelles et de barrières techniques, telles qu'elle est prévue dans les modèles du stockage géologique final (GEL) ou du stockage géologique durable contrôlé (KGL, puis GEL). Dans ces deux cas, la profondeur du dépôt prévient les effets de catastrophes naturelles et de l'érosion ; les interventions humaines hostiles sont rendues plus difficiles ; et l'extrême lenteur des processus dans la lithosphère est une protection efficace contre la propagation des radionucléides jusqu'au moment où ceux-ci seront devenus inoffensifs, suite à leur désintégration naturelle.

### 6.2.2 Prise en compte de l'axe temporel

#### a. Sécurité à long terme

Dépôts en surface et dépôts durables

La sécurité à long terme est la priorité absolue ; elle a pour horizon une période qui va de quelques siècles à plus de cent mille ans. Dans cette optique, les dépôts en surface et les dépôts durables en profondeur (TDL) ne satisfont pas au critère de sécurité pour deux raisons :

- A cette échelle l'intégrité des ouvrages n'est pas garantie ;
- l'évolution de la société reste imprévisible et, par conséquent, il serait aléatoire de faire reposer la sécurité sur des mesures actives.

GEL et KGL

Les deux seuls modèles qui satisfont l'objectif de sécurité à long terme sont le stockage géologique final (GEL) et le stockage géologique durable contrôlé (KGL). Les éléments essentiels pour les évaluer sont les suivants :

- Le stockage géologique final (GEL) fait l'objet d'une réflexion éprouvée et l'analyse de sécurité repose sur des connaissances techniques avérées ;
- *A priori*, la sécurité à long terme d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL) est analogue à celle d'un stockage géologique final (GEL). A cette échelle le dépôt est fermé et scellé dans l'un et l'autre cas. La seule différence d'un KGL par rapport au GEL est liée à l'architecture modifiée des zones de dépôt pour faciliter la récupération des déchets. Cela ne devrait pas avoir d'effet mais des études précises doivent vérifier que les mesures de surveillance et de contrôle durant la phase d'observation sont sans incidence sur la sécurité ultérieure à long terme.

Modèle révisé de dépôt du Wellenberg

Le modèle révisé de stockage élaboré par la GNW pour le Wellenberg partage de nombreux points, avec le modèle de stockage géologique durable contrôlé (KGL) développé par l'EKRA. Il existe cependant des différences. Le " Dialogue sur la gestion des déchets nucléaires " relevait déjà qu'en maintenant les cavernes et les accès ouverts pendant longtemps, le risque d'infiltration d'eaux souterraines était plus grand que lorsque le dépôt était fermé. Le comblement et le scellement des diverses cavernes de stockage devrait donc intervenir rapidement après la mise en place des déchets. Une autre différence concerne la construction et l'exploitation du dépôt pilote, partie intégrante du KGL.

*b. Sécurité à moyen terme*

GEL et KGL

Les dépôts en surface et les dépôts durables en profondeur (TDL) ayant été écartés pour ne pas satisfaire au critère premier de la sécurité, il reste donc à comparer le stockage géologique final (GEL) et le stockage géologique durable contrôlé (KGL) du point de vue de la sécurité à moyen terme. Pour ce faire, nous soulignons les points suivants :

- Compte tenu de la période d'observation prolongée, le stockage géologique durable contrôlé (KGL) est plus satisfaisant du point de vue de la réversibilité que le stockage géologique final (GEL)

et il offre de meilleures perspectives de surveillance des déchets, de contrôle et de récupération, ainsi que la possibilité d'une nouvelle utilisation éventuelle en ce qui concerne les déchets hautement radioactifs.

- Néanmoins cet avantage a pour contrepartie un risque supérieur au stockage géologique final (GEL), tant que le dépôt n'est pas fermé et scellé. Ce risque est lié à l'incertitude de la stabilité sociale sur des périodes qui peuvent être relativement longues (de l'ordre de quelques décennies à quelques siècles) et il implique une augmentation des coûts dans le domaine de la sûreté et de la sécurité d'exploitation pendant la phase d'observation (et donc des coûts et des charges supplémentaires à gérer par les autorités de surveillance).

c. *Sécurité à court terme*

GEL et KGL

Les modèles ne se distinguent pas sensiblement l'un de l'autre durant la phase d'exploitation et de mise en place des déchets, qui s'étend sur une période de l'ordre de trente à cinquante ans.

### 6.3 Evaluation comparative globale

Dès lors que les dépôts en surface et les dépôts durables n'offrent pas un niveau de sécurité suffisant (cf. 6.2), nous limiterons dans la suite la comparaison entre le stockage géologique final (GEL) et le stockage géologique durable contrôlé (KGL).

a. *Sécurité de l'homme et de l'environnement*

Dans l'état actuel des connaissances, le stockage géologique final (GEL) garantit de manière adéquate la sécurité à long terme de l'homme et de son environnement. Le stockage géologique durable contrôlé (KGL) offre quant à lui pendant la phase d'exploitation et d'observation la possibilité, par la surveillance et le contrôle, de détecter des défaillances imprévues et d'y répondre. Maintenir cependant les accès ouverts pendant cette période fait peser un risque sur l'émission de radioactivité hors du dépôt (eaux de drainage et émanations de gaz) ainsi qu'une incertitude quant à l'évolution de la société ; on devra ainsi se demander si la société sera en mesure de surveiller un tel dépôt et, si besoin, de le fermer.

Seule l'analyse de projets concrets permettra de déterminer laquelle des deux solutions entre le stockage géologique final (GEL) et le stockage géologique durable contrôlé (KGL) est optimale.

*b. Marge de manœuvre pour chaque génération, et équité entre les couches et les groupes de la population et entre les générations*

Marge de manœuvre

Un argument en faveur du stockage géologique final (GEL) est que les générations futures n'auront pas à se préoccuper des déchets enfouis et scellés.

En revanche, le stockage géologique durable contrôlé (KGL) offre aux générations futures la possibilité de revenir, jusqu'à un certain point, sur les décisions antérieures et d'appliquer au stockage des connaissances nouvelles et meilleures.

Equité

Faute de pouvoir comparer les deux modèles sur de longues périodes, on ne peut tenir compte des questions d'équité, par exemple dans la répartition des charges, que dans le temps présent. On peut ainsi comparer, par exemple, sur le plan régional, les charges liées à un site de dépôt intermédiaire (sans sécurité de longue durée) et celles qui seraient liées à un stockage géologique final (GEL) ou à un stockage géologique durable contrôlé (KGL), sur les sites potentiels du Wellenberg ou du nord du canton de Zurich.

*c. Respect du principe de la responsabilité causale*

Pour les deux modèles de stockage, le respect du principe de la responsabilité causale peut être rempli grâce à deux mesures :

- la couverture financière dès aujourd'hui du stockage ultérieur, indépendamment des aléas de la situation économique,
- la mise en place rapide des dépôts.

*d. Acceptation*

Pour trancher la question du degré d'acceptation de l'un ou l'autre modèle, il faut encourager le débat public sur leurs avantages et leurs inconvénients respectifs.

Le choix entre stockage géologique final (GEL) et stockage géologique durable contrôlé (KGL) doit être vu comme un processus d'optimisation entre deux modèles complémentaires. Dans la prise de décision, la sécurité de l'homme et de l'environnement doit avoir la priorité absolue sur tout autre critère.

## 7. Conclusions et recommandations

### 7.1 Conclusions

Conclusions de l'EKRA	L'évaluation des divers modèles de stockage conduit l'EKRA aux conclusions suivantes :
Stockage intermédiaire	1. Les systèmes de sécurité des <b>dépôts intermédiaires sont conçus pour de courtes durées de stockage</b> ; ils ne satisfont pas à l'objectif prioritaire de la sécurité à long terme.
Stockage en surface et stockage final	2. <b>Le stockage de déchets en surface</b> ( <i>stockage durable en surface, stockage de longue durée et stockage final</i> ) et le stockage ouvert en profondeur ( <i>stockage durable en profondeur</i> ), qui doivent être surveillés, sont eux aussi <b>incompatibles avec l'objectif de la sécurité à long terme</b> .
Stockage géologique final	3. En l'état actuel des connaissances, <b>le stockage géologique final (GEL) est la seule méthode</b> de gestion des déchets radioactifs <b>qui corresponde aux exigences de sécurité à long terme</b> (jusqu'à plus de 100'000 ans). Ce modèle est fondé sur l'action combinée de barrières techniques et géologiques pour contenir les radionucléides. La réversibilité du stockage, c'est-à-dire la possibilité de récupérer les déchets d'un stockage final obturé, est préservée dans son principe, mais ne fait pas partie intégrante du modèle.
Surveillance, contrôle et possibilité de récupération Modèle KGL	4. Les <b>exigences de la société</b> concernant le stockage des déchets <b>sont axées sur le principe de la réversibilité</b> . L'EKRA a donc développé le modèle du " <i>stockage géologique durable contrôlé</i> " (KGL), qui associe le stockage final et la possibilité d'une réversibilité. Outre le stockage de déchets proprement dit dans un "dépôt principal", ce modèle prévoit la réalisation d'un "dépôt test" et d'un "dépôt pilote". Il prévoit également une phase d'observation après fermeture des cavernes de stockage, durant laquelle les conditions de récupération seraient facilitées, avant la transformation du dépôt en stockage géologique final. Le modèle du stockage géologique durable contrôlé (KGL) tente ainsi de concilier les exigences de la sécurité à long terme et celles de la réversibilité. Au terme d'une transition par étapes, le stockage géologique durable contrôlé sera transformé en stockage géologique final si les déchets ne sont pas récupérés entre-temps.

Comparaison GEL – KGL

5. C'est au nom et en fonction de la sécurité que le **modèle du stockage géologique final doit être complété par des éléments du stockage géologique durable contrôlé.**

Avantages offerts par le stockage géologique durable contrôlé (KGL) en matière de sécurité pendant la phase d'observation :

- amélioration potentielle de la sécurité par l'acquisition de connaissances et prise en compte de progrès techniques ;
- découverte précoce d'évolutions inattendues et indésirables ;
- récupération plus facile des déchets ou réparation du dépôt, en cas de problèmes.

Inconvénients du stockage géologique durable contrôlé (KGL) en matière de sécurité pendant la phase d'observation :

- prolongation de l'exposition, particulièrement pour le personnel d'exploitation ;
- risque accru d'intervention indésirable de tiers ;
- incertitudes quant à l'évolution de la société (troubles sociaux, événements militaires, renversement du système politique, effondrement économique et technologique, épidémies).

En ce qui concerne la transition par étapes entre le stockage géologique durable contrôlé et le stockage géologique final ultérieur, certaines questions requièrent encore une clarification dans le cadre de projets concrets et d'analyses générales.

L'option pour le modèle du stockage géologique durable contrôlé (KGL) entraînerait des coûts de construction et d'exploitation plus élevés que ceux du modèle de stockage géologique final (GEL).

Si des recherches étayées, basées sur des projets concrets, devaient prouver que le modèle de KGL avait un niveau de sécurité comparable à celui du stockage géologique final (GEL), il faudrait le préférer en raison de sa réversibilité plus aisée.

Programmes d'évacuation  
HAA/LMA

6. Programmes d'évacuation des déchets en Suisse :  
*Programme HAA/LMA : conformément à l'état actuel des connaissances, l'argile à opalines, roche d'accueil actuellement prospectée, est fondamentalement appropriée* aussi bien pour un stoc-

kage géologique final (GEL) que pour un stockage géologique durable contrôlé (KGL). Il convient de poursuivre les recherches et les investigations pour compléter les données recueillies dans l'optique actuelle d'un stockage géologique final (GEL) de manière à concrétiser la phase d'exploitation et de surveillance d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL).

SMA

*Programme SMA* : sur plusieurs points, **le modèle de stockage de la CEDRA dans l'optique d'un projet de stockage final au Wellenberg convient aussi au modèle de stockage géologique durable contrôlé (KGL)**. Les différences résultent essentiellement du remplissage rapide des cavernes et de l'aménagement d'un dépôt pilote pour la surveillance et le contrôle.

La caractérisation du site du Wellenberg doit encore être complétée par une galerie de sondage.

## 7.2 La position du groupe EKRA par rapport au mandat

Comparaison des modèles

1. *Comparaison entre stockage géologique final, stockage durable contrôlé et récupérable, stockage durable et stockage intermédiaire*

Sécurité active et passive

*Sécurité active et passive* : seule une combinaison de barrières techniques et naturelles (système de sécurité passive) peut garantir la sécurité à long terme. Seul le stockage géologique en profondeur dans des cavernes fermées (GEL et KGL au sens du présent rapport) entre donc en ligne de compte. Le stockage en surface, le stockage intermédiaire et durable ou le stockage durable en profondeur dans des cavernes ouvertes, ne sauraient constituer des solutions à long terme.

Surveillance et contrôle

*Surveillance et contrôle* : la surveillance et le contrôle à l'intérieur de l'enceinte du stockage sont souvent au centre d'un paradoxe : ils sont en contradiction avec les exigences de la sécurité à long terme mais sont éthiquement justifiés. C'est pour y échapper que l'EKRA a élaboré son modèle de KGL.

Possibilité de récupération

*Possibilité de récupération* : celle-ci fait partie de l'exigence de réversibilité. La récupération peut être facilitée par des mesures portant sur l'aménagement des lieux. De telles mesures augmentent cependant le risque d'un accès non autorisé au matériel stocké.

Stockage géologique final

KGL

L'EKRA arrive à la conclusion qu'il faut s'en tenir aux exigences de sécurité prises dans le sens du stockage géologique final. Pour satisfaire aux exigences de la surveillance, du contrôle et de la facilité de récupération, l'EKRA propose un nouveau modèle de stockage géologique durable contrôlé (KGL) qui implique notamment la mise en œuvre d'un *dépôt test* et d'un *dépôt pilote*, de même que des mesures nouvelles en matière d'organisation et d'institutions de suivi. C'est dans le cadre de ce dépôt pilote distinct du site du dépôt principal que se feront principalement la surveillance et le contrôle. Ce dépôt pilote pourra fonctionner avant, pendant et après la mise en place des déchets dans le dépôt principal.

2. *Projet SMA Wellenberg et projet HAA/LMA du nord de la Suisse*

Sur la base des connaissances actuelles sur l'adéquation aux exigences, les roches d'accueil pressenties peuvent convenir aussi bien à un stockage géologique final (GEL) qu'à un stockage durable contrôlé (KGL). Il faut donc poursuivre les projets sur les deux sites, pour voir s'ils se prêtent au GEL ainsi qu'au KGL.

3. *Législation*

- Pour tous les types de déchets, la loi sur l'énergie nucléaire (LE-Nu), ainsi que d'autres bases légales (p.ex. la régle cantonale des mines), doivent poser le stockage géologique final comme étalon de la sécurité à long terme, au sens des résultats présentés ci-dessus. La possibilité de surveiller, de contrôler et de faciliter la récupération doit être établie et décrite dans l'optique du KGL par les ingénieurs de projets.
- Il faut assurer dès maintenant la couverture financière des travaux de gestion des déchets ; le financement de ces travaux doit être pris en charge sans retard par un fonds.

### 7.3 Recommandations

L'objectif primordial de la gestion des déchets nucléaires est la protection durable, illimitée dans le temps, de l'homme et de l'environnement contre les dangers liés aux déchets radioactifs. Le stockage géologique final est la seule méthode qui remplisse ce but. Certaines autres revendications, notamment quant à la surveillance, au contrôle et à la possibilité de récupérer les déchets, sont prises en compte dans le modèle du stockage géologique durable contrôlé (KGL), développé par l'EKRA.

Conformément à son mandat, l'EKRA recommande la démarche suivante :

Débats publics

- a. Encourager le débat public sur la question de la gestion des déchets nucléaires.

#### *Concernant la loi sur l'énergie nucléaire*

Loi sur l'énergie nucléaire

- b. Prévoir dans la loi sur l'énergie nucléaire le stockage géologique final (GEL) quel que soit le type de déchets. Dans le cadre des projets concrets en cours, définir la surveillance, le contrôle et la facilité de récupération, dans l'optique du modèle d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL).

- c. Assurer l'indépendance financière du programme de gestion par rapport aux exploitants actuels des centrales nucléaires et prévoir les adaptations institutionnelles indispensables.

#### *Concernant le projet SMA Wellenberg*

Projet SMA Wellenberg

- d. Sur la base des connaissances disponibles aujourd'hui, le site du Wellenberg paraît satisfaire aussi bien aux exigences d'un stockage géologique final (GEL) qu'à celles d'un stockage géologique durable contrôlé (KGL). Il convient de poursuivre le programme au Wellenberg, pour lequel le modèle actuel de stockage (CEDRA/NAGRA 1998) peut servir de point de départ. Il faut en outre tester les possibilités d'implantation et de configuration d'un dépôt pilote (KGL). Auparavant, il faut préparer la réalisation d'une galerie de sondage au Wellenberg.

Programme HAA/LMA

*Concernant le programme HAA/LMA*

- e. L'argile à opalines, roche d'accueil actuellement prospectée, convient en principe aussi bien pour un stockage géologique final (GEL) que pour un stockage géologique durable contrôlé (KGL). Une fois achevé le descriptif de gestion des déchets radioactifs, il faut faire avancer la caractérisation du site de dépôt et entreprendre la planification du stockage et l'exploration du site. Des options de stockage à l'étranger ne constituent pas une alternative à la solution du problème en Suisse.

Calendrier

*Concernant le calendrier de réalisation*

- f. Pour les deux projets, il convient de présenter un calendrier menant jusqu'à la réalisation des dépôts, et de vérifier régulièrement que celui-ci est respecté.

## Bibliographie

- AGNEB (1997) : 19<sup>e</sup> rapport d'activité du groupe de travail de la Confédération pour la gestion des déchets nucléaires, Office fédéral de l'énergie.
- AGV (1998) : *Arbeitsgruppe Volkswirtschaft, Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen eines SMA-Lagers Wellenberg – Kosten-Nutzen Analyse*. Bundesamt für Energie, Bern.
- ANDRA (1997) : AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS, *Laboratoire de recherche souterrain Est - état des connaissances et programme d'experimentation*.
- Bär, R. (1997) : Der Effizienzpfad aus der atomaren Sackgasse (Zur Lagerung radioaktiver Abfälle aus Atomkraftwerken). Neue Zürcher Zeitung, 27.2.1997.
- Barde, J.-P. (1991) : *Economie et politique de l'environnement*, Paris, Puf.
- Buser, M. (1997) : "Hüten versus endlagern : ein Konflikt im Zeichen der Zeit", Nagra informiert No. 30.
- Buser, M. (1998) : "Hüte"-Konzept versus Endlagerung radioaktiver Abfälle : Argumente, Diskurse und Ausblicke. HSK Würenlingen.
- Buser, M. & Wildi, W. (1981) : *Wege aus der Entsorgungsfalle*. Schweiz. Energiestiftung (Zürich), Report 12.
- CEDRA/NAGRA (1988) : *Sedimentstudie – Zwischenbericht 1988, Möglichkeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz*. NTB 88-25.
- CEDRA/NAGRA (1994a) : *Sedimentstudie, Zwischenbericht 1993*. NTB 94-10.
- CEDRA/NAGRA (1994b) : *Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA). Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW)*, NTB 94-06.
- CEDRA/NAGRA (1997) : *25 Jahre NAGRA*. NAGRA Wettingen.
- CEDRA/NAGRA (1998) : *Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle am Standort Wellenberg. Etappen auf dem Wege zum Verschluss ; präzisierende Darstellung der Kontrollierbarkeit und Rückholbarkeit*, NTB 98-04.
- CEDRA/NAGRA (1999a) : *Start der Langzeitmessungen in der Bohrung Benken (ZH)*. Pressemitteilung vom 16. Juli 1999.
- CEDRA/NAGRA (1999b) : *Langzeitüberwachung geologischer Endlager. Konzeptionelle Überlegungen der Nagra. Unterlagen zum Hearing der EKRA vom 6. September 1999*.
- CNE (1998) : COMMISSION NATIONALE D'EVALUATION RELATIVE AUX RECHERCHES SUR LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS instituée par la loi 91-1381 du 30 décembre 1991 : *Thoughts on Retrievability. Executive Summary*, Paris.
- CNE (1999) : *Commission Nationale d'évaluation relative aux Recherches sur la Gestion des Déchets Radioactifs instituée par la loi 91-1381 du 30 décembre 1991 : Rapport d' Evaluation N° 5*, Paris.
- CRWMS (1998) : *CIVILIAN RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT SYSTEM, Total System Description. Revision 1*.
- Damveld, H. & van den Berg (1999a) : *Social and ethical aspects of retrievable disposal*. Arbeitspapier.

- Damveld, H. & van den Berg (1999b) : Atomabfall und Atomethik. In : W. Neumann : Von Lingen nach Ahaus. EuKo-Info-Redaktion, Gronau.
- Dodd, D.H., Grupa, J.B., Heijdra, J.J. & Prij, J. (1998) : A repository design for the retrievable disposal of radioactive waste in rock salt.- ECN-Report, Serie RX, 98-022, Petten.
- DSN/HSK (1995) : Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen : Gutachten zum Gesuch der ZWILAG um Erteilung der Betriebsbewilligung für Bau und Betrieb des Zentralen Zwischenlagers für radioaktive Abfälle, HSK 27/12, Dezember 1995.
- DSN/HSK (1999) : Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen : Gutachten zum Gesuch der ZWILAG um Erteilung der Betriebsbewilligung für die Konditionierungsanlage sowie für die Verbrennungs- und Schmelzanlage des Zentralen Zwischenlagers für radioaktive Abfälle in Würenlingen, HSK 27/45, August 1999.
- EIA (1999) : Energy information Administration, Annual energy Review 1998.
- Gervers, J. H. (1993) : Bericht der Arbeitsgruppe Standortvorauswahl. Appendix A. Experience of different countries in site selection - case studies. A3 U.S.A.- In : NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (Hrsg.) : Endlager-Hearing Braunschweig. Tagungsband II, S. 312-322, Hannover (Internationales Endlager-Hearing 21.-23. September 1993 in Braunschweig).
- Greenpeace (1993) : Trittst im Morgenrock daher, seh ich dich im Strahlenmeer, Greenpeace Schweiz.
- Hammond, PH.R. (1979) : Nuclear waste and public acceptance. American Scientist, Vol 67.
- Han, W. K., Heinonen, J. & BonnE, A. (1997) : Radioactive Waste disposal : Global experience and challenges.- IAEA-Bulletin, 39/1, Wien.
- IAEA (1971) : Proceedings of the Fourth International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva September 1971, Vol 11.
- IWM (1999) : International Waste Management, Website des U.S. Department of Energy [http://edt.pnl.gov:2080/fac/\[france,netherlands,sweden\]/factsheet.html](http://edt.pnl.gov:2080/fac/[france,netherlands,sweden]/factsheet.html).
- Jonas H. (1979) : Das Prinzip Verantwortung, Insel Verlag, Frankfurt a. M.
- Kreuzer, K. (1992) : Ein Hüte-Konzept für radioaktive Abfälle, neue Wege,märz 1992, 86-jahrhang, nr.3.
- MacLean, D. (1986) : ed., Values at Risk, Totowa NJ, Rowman and Allanheld.
- Moore, G. E. (1951) : Principia Ethica, Cambridge, Cambridge University Press.
- NEA (1995) : NUCLEAR ENERGY AGENCY – OECD, The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal. A Collective Opinion of the NEA Radioactive Waste Management Committee.- NEA/OECD, Paris.
- NEA (1997a) : NUCLEAR ENERGY AGENCY – OECD, Regulating the Long-Term Safety of Radioactive Waste Disposal.- Proceedings of a NEA International Workshop, Cordoba, Spain, 20-23 January 1997, NEA-OECD, Paris.
- NEA (1997b) : NUCLEAR ENERGY AGENCY – OECD, Update on Waste Management Policies and Programmes.- Nuclear Waste Bulletin No. 12, Paris.
- NEA (1998) : NUCLEAR ENERGY AGENCY – OECD, Update on Waste Management Policies and Programmes.- Nuclear Waste Bulletin, 13, Paris.
- NL (1993) : The Position of the Dutch Government on Deep Burial.- In : NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (Hrsg.) : Endlager-

- Hearing Braunschweig. Tagungsband II, S. 374-379, Hannover (Internationales Endlager-Hearing 21.-23. September 1993).
- Nux (1991) : The Nuclear Guardianship Project, nux oct. 1990.
  - OCDE, " The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-lived Radioactive Waste ", 1995.
  - OCRWM (1998) : U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, OFFICE OF CIVILIAN RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT (1998) : Civilian Radioactive Waste Management Program Plan. Revision 2.- 53 S., Washington DC.
  - Parfit, D. (1983) : " Energy policy and the further future : the social discount rate", in *Energy and the Future*, D. MACLEAN and P. BROWN, eds., Totowa NJ, Rowman and Allanheld.
  - *Plan d'action Environnement et Santé* (1997), Office fédéral de la santé publique, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne (1997)
  - Richardson, P. J. (1999) : Development of Retrievability Plans.- 31 S., Ashby de la Zouch (Grossbritannien), März 1999, im Auftrag des staatlichen Koordinators für die Endlagerung radioaktiver Abfälle beim schwedischen Umweltministerium.
  - Roseboom (1983) : The case for retrievable high-level nuclear waste-disposal, Fifth International Conference on High-Level Radioactive Waste Management, Las Vegas, Vol. 3.
  - Rosen, Morris (1998): *Managing Radioactive Waste : Issues and Misunderstandings*, lecture on the Uranium Institute, Twenty-Third Annual Symposium, London, 10-11-Sept..
  - Ruh, H. (1998) : Dialogue sur l'énergie, la gestion des déchets radioactifs : Rapport final du président, adressé au Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Office fédéral de l'énergie, Berne.
  - Selling, H. et al. (1998) : A Retrievable Concept for an Underground Radioactive Waste Repository in the Netherlands.- In : HLW, LLW, Mixed Wastes and Environmental Restoration : Working towards a Cleaner Environment. Proceedings of WM '98, 1.-5.3.1998, Tucson, Arizona.
  - SES/Greenpeace (1998) : Radioaktive Abfälle : Handlungsperspektiven. In Ruh (1998).
  - SES (1999) : Das Magazin der Schweizerischen Energie-Stiftung SES, Nr. 4 : Atomalptraum ohne Ende?
  - Shrader-Frechette, Kristin (1991): *Risk and Rationality : Philosophical Foundations for Populist Reforms*, Berkeley, University of California Press.
  - Shrader-Frechette, Kristin (1993),, *Burying Uncertainty : Risk and the Case against Geological Disposal of Nuclear Waste*, Berkeley, University of California Press.
  - SKB (1999) : Svensk Kärnbränslehantering AB, Activities 1998.- 48 S., Stockholm.
  - SKI (1999) : Swedish Nuclear Power Inspectorate, The Swedish Nuclear Power Inspectorate's Evaluation of SKB's RD & D Program 1998. Summary and Conclusions.- SKI Report, 99 :30, 51 S., Stockholm.
  - Slovic, Paul, Flynn, James H., Layman, Mark (1991): Perceived Risk, Trust and the Politics of Nuclear Science . - *Science*, vol. 254, p. 1603-1607, 13 déc. 1991.
  - Stevenson, Hardy, and associates (1991): Moral and Ethical Issues related to the Nuclear Fuel Waste Disposal Concept. - Environmental Review Office, AECL Whiteshell Laboratories, Pinawa, Manitoba, Canada, October 1991.

- 
- TAG (1998) : Technische Arbeitsgruppe Wellenberg, Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle : Stellungnahme zu technischen Aspekten des Projektes Wellenberg. Bundesamt für Energie, Bern.
  - Taylor Ch. (1992), Sources of the self : the making of the modern identity, Cambridge, Cambridge University Press (1992)
  - Walzer M. (1983) : Spheres of Justice. A Defense of Pluralism and Equality, Blackwell, Oxford (1983)
  - Wegmüller & Chabot (1997): Einflüsse des Bergwassers auf die Dauerhaftigkeit von Bauwerken. Schlussbericht 1997, IBB Forschungsprojekt 085/93, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich, Juli 1997.
  - ZWILAG (1994) : Sicherheitsbericht zum Gesuch um Erteilung der nuklearen Bau- und Betriebsbewilligung für das Zentrale Zwischenlager Würenlingen, September 1994
  - ZWILAG (1997) : Final Safety Analysis Report FSAR zum Gesuch um die Erteilung der Nuklearen Betriebsbewilligung für die ZWILAG-Behandlungsanlagen, Dezember 1997



**Annexe 1 : Définitions**

<i>Anthropologie</i>	La science de l'homme (apparence, sens de l'existence humaine, philosophie)
<i>Approche contractualiste</i>	Démarche consistant à déterminer ce qui est juste au moyen de conventions réciproques (contrats, accords, décisions démocratiques, etc.). Comme tenants de cette approche, on peut citer des philosophes tels que Rousseau et Rawls.
<i>Approche déontologique</i>	Déontologie ; du grec <i>dein</i> , devoir. Approche éthique normative inspirée de Kant, se référant à des obligations auto-imposées. Recherche ce qui est juste non pas au vu de sa teneur propre, mais par le biais de procédures formelles.
<i>Barrières</i>	<p>Les barrières constituent un système de sécurité passive d'un dépôt, destiné à protéger l'homme et l'environnement. Ce sont des dispositifs techniques ou naturels (géologie) de confinement et de rétention, qui isolent les déchets radioactifs de la biosphère de manière redondante.</p> <p>Les <u>barrières techniques</u> comprennent la forme des déchets (p.ex. vitrifiés), leur conditionnement (p.ex. dans des fûts d'acier), voire le comblement des cavernes et galeries (p.ex. au moyen de bentonite).</p> <p>Les <u>barrières naturelles</u> sont la roche d'accueil du dépôt et la géosphère en général (avec le contexte géologique). Outre la rétention, les barrières naturelles assurent à long terme la protection des barrières techniques.</p>
<i>Champ proche</i>	Le champ proche est la partie de la roche d'accueil influencée par l'existence des espaces de stockage (ameublissement de la roche, modifications chimiques, etc.).
<i>Communautarisme</i>	Ecole politico-philosophique qui met l'accent sur l'existence de groupes (familles, communautés linguistiques ou religieuses, groupes de population, milieux culturels) ayant des valeurs communes. Ces valeurs ne sont pas forcément partagées en-dehors du groupe. Aucune norme éthique ne saurait donc s'appliquer à eux tous, sinon la nécessité de protéger les groupes et leurs valeurs (antonyme : universalisme).
<i>Concept transcendant</i>	Concept ou conception qui affirme une transcendance, une réalité en-dehors ou au-dessus du monde. Une société pluraliste n'accepte pas qu'un accès privilégié à la vérité soit dérivé d'une telle conception.
<i>Dépôt durable</i>	Installation dans laquelle des déchets radioactifs sont déposés durablement. La protection de l'homme et de l'environnement repose sur des barrières techniques et sur des mesures non limitées dans le temps.
<i>Dépôt en profondeur</i>	Dépôt intermédiaire, durable, de longue durée ou final dans le sous-sol géologique.
<i>Dépôt en surface</i>	Dépôt intermédiaire, durable ou final, non enterré
<i>Dépôt final</i>	Installation destinée à recueillir, sans limite de durée et sans nécessiter d'entretien, des déchets radioactifs qu'il n'est pas prévu de récupérer.
<i>Dépôt géologique final</i>	Dépôt final (→) dans des formations géologiques profondes de l'écorce terrestre continentale. Après sa fermeture, les barrières (→) assurent seules la protection de l'homme et de l'environnement.

<i>Dépôt intermédiaire</i>	Installation destinée à l'entreposage de courte à moyenne durée de déchets conditionnés, dans des locaux affectés et aménagés à cet usage, avec l'intention ferme d'un transfert ultérieur.
<i>Escompte</i>	Pourcentage annuel dont on affecte une valeur future (coût ou bénéfice) pour en déterminer la valeur actuelle. C'est donc le contraire du taux d'intérêt, pourcentage annuel dont on affecte une valeur actuelle pour en déterminer la valeur future. En science économique, le taux d'intérêt est qualifié de positif, l'escompte de négatif. Si ce dernier est de 10 % par année, les effets sur le bien-être dans 20 ans ne seront que d'un dixième, environ, de leur niveau actuel.
<i>Ethique téléologique</i>	Définit le bien par rapport à un objectif (telos). Celui-ci peut être le bonheur, l'utilitarisme, la justice, le bien public. L'éthique téléologique en définit la teneur et se demande comme y parvenir (antonymes : éthique déontologique, éthique procédurale).
<i>Géosphère</i>	Ce terme s'applique à l'ensemble des unités géologiques se trouvant entre les espaces de stockage et la biosphère ; la roche d'accueil en fait partie.
<i>Justificatif de faisabilité</i>	Le justificatif doit démontrer que les techniques actuelles permettent de construire un dépôt final dans la roche d'accueil choisie, de l'exploiter et, à terme, de le fermer en respectant les prescriptions de sécurité.
<i>Justificatif de la gestion</i>	Démonstration s'appuyant sur des études scientifiques et techniques, d'où il ressort que la gestion sûre des déchets radioactifs est possible en Suisse. Selon la décision du Conseil fédéral du 3 juin 1988 concernant le projet Garantie, le justificatif pour les déchets fortement radioactifs comprend 3 volets : le justificatif de sécurité (→), le justificatif de site (→) et le justificatif de faisabilité (→).
<i>Justificatif de sécurité</i>	Le justificatif démontre que la sécurité à long terme est assurée dans une roche d'accueil donnée, ayant les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques révélées par des sondages, et au moyen de barrières techniques.
<i>Justificatif de site</i>	Il s'agit de démontrer, au moyen de données étayées, la présence d'une masse rocheuse présentant les caractéristiques fixées dans le justificatif de sécurité, suffisamment grande pour que la réalisation d'un dépôt final puisse y être entreprise avec des chances de succès.
<i>Mesures</i>	Les mesures constituent le système de sécurité active destiné à protéger l'homme et l'environnement d'un dépôt. Il s'agit d'actes d'ordre technique, organisationnel ou administratif tels que l'entretien, la réparation, le contrôle et la surveillance de l'installation et des déchets stockés, voire de leur récupération (→).
<i>Mode protégé</i>	Modèle extrême d'un dépôt durable (→), le mode protégé préconise la garde durable des déchets sous surveillance humaine, par exemple sous la forme d'un ordre quasi religieux exerçant dans des constructions de type cathédrales ou pyramides.
<i>Néoaristotélien</i>	Le communautarisme (→) reflète une vision néoaristotélienne. A l'instar d'Aristote, il met l'accent sur le bien (commun), sur le but à atteindre. La première place revient aux vertus (et non aux devoirs).
<i>Récupération</i>	La récupération consiste à extraire délibérément les déchets radioactifs d'un dépôt en vue de les amener dans une autre installation pour stockage, retraitement ou réutilisation.

<i>Récupération possible</i>	Certains modèles de stockage comportent la possibilité de reprendre les déchets radioactifs déposés dans une installation ouverte, voire fermée entièrement ou partiellement, à condition d'investir un montant plus ou moins élevé dans l'opération.
<i>Relativisme</i>	Etant donné la conception pluraliste selon laquelle toute opinion ou vision en vaut une autre, le relativisme affirme qu'aucune opinion n'est vraiment significative.
<i>Réversibilité</i>	La réversibilité (possibilité de défaire ce qui a été fait) implique un ensemble de conditions et de mesures (→) grâce auxquelles il reste possible de revenir sur des décisions et des actes antérieurs.
<i>Roche d'accueil</i>	Sous le nom de <i>roche d'accueil</i> on désigne le domaine de la géosphère qui détermine la protection des barrières techniques, la limitation des infiltrations d'eau dans le dépôt et la rétention des radionucléides. Le dépôt est pratiqué dans la roche d'accueil.
<i>Sécurité à long terme</i>	Protection durable de l'homme et de l'environnement au moyen de barrières (→) et/ou de mesures (→)
<i>Sismique, recherches sismiques</i>	Les recherches sismiques consistent à provoquer des vibrations à la surface du sol. Des ondes qui se propagent en profondeur et sont répercutées par les couches géologiques auxquelles elles se heurtent. Leur écho, enregistré par les opérateurs, permet d'esquisser les structures géologiques.
<i>Société pluraliste</i>	Société regroupant différentes appréciations de ce qui est bien et juste, sans qu'une instance tierce "neutre" puisse en établir le palmarès.
<i>Subjectivisme</i>	Idée selon laquelle la vérité (éthique) ne peut être approchée qu'à l'échelon du sujet humain (contrairement à l'universalisme).
<i>Sûreté (Security)</i>	Dispositifs et mesures s'opposant aux interventions illicites de tiers qui porteraient atteinte aux systèmes de sécurité (→).
<i>Système de sécurité</i>	Barrières (→) et mesures (→) protégeant des surprises d'ordre naturel ou technique et qui éliminent ainsi l'essentiel des risques affectant l'homme et l'environnement.
<i>Dangerosité</i>	Nocivité d'une substance lorsqu'elle est absorbée par le corps. En ce qui concerne la radiodangerosité, la nocivité dépend de l'action, spécifique aux divers nucléides, du rayonnement radioactif.  La radiodangerosité d'un lot ou d'un dépôt de déchets est la somme des toxicités de l'ensemble des nucléides contenus.
<i>Transcendance</i>	Doctrine qui affirme une réalité en-dehors ou au-dessus du monde. Une définition qui mène plus loin : doctrine d'après laquelle derrière les choses éphémères, perceptibles par les sens, se trouvent des idées, des vérités, des substances éternelles, voire la "chose en soi".
<i>Transmutation</i>	Transformation sélective d'isotopes radioactifs à demi-vie longue en isotopes stables ou à demi-vie courte par bombardement de neutrons ou de particules chargées. Les isotopes radioactifs doivent au préalable être triés au moyen de procédés coûteux.
<i>Utilitarisme</i>	L'utilitarisme est une approche téléologique de l'éthique, pour laquelle le Bien réside dans le plus grand bien-être possible pour le plus grand nombre possible d'êtres humains.
<i>Zone de stockage</i>	Zone réservée à l'implantation d'un dépôt pour déchets radioactifs, y compris les réserves de sécurité (p.ex. la distance par rapport à la roche voisine).

## Annexe 2 : Abréviations

CEDRA/NAGRA	Société coopérative nationale pour l'entreposage des déchets radioactifs
CSA	Commission fédérale de la sécurité des installations nucléaires
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DL	Dépôt (ou entreposage) durable
DP	Phase de démonstration
DSN/HSK	Division principale de la sécurité des installations nucléaires
EKRA	Groupe d'experts pour les modèles de gestion des déchets radioactifs ("Ensorgungskonzepte für Radioaktive Abfälle")
EL	Dépôt (ou entreposage) final
FSE	Fondation suisse pour l'énergie
GEL	Dépôt géologique final
GNW	Société coopérative "für Nukleare Entsorgung Wellenberg"
HAA	Déchets hautement radioactifs
KGL	Dépôt (ou entreposage) géologique durable sous contrôle
LENu	Loi sur l'énergie nucléaire (en préparation)
LMA	Déchets moyennement radioactifs de longue durée (de demi-vie)
LZL	Dépôt (ou entreposage) de longue durée
MAA	Déchets moyennement radioactifs
MIF	Déchets MIF : produits par la médecine, l'industrie et la recherche
MNA	Comité "für die Mitsprache der Nidwaldner Bevölkerung bei Atomanlagen"
MOX	Assemblages combustibles MOX : à l'oxyde mixte
ODL	Dépôt (ou entreposage) durable en surface
OEL	Dépôt (ou entreposage) final en surface
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OLZL	Dépôt (ou entreposage) de longue durée en surface
PSI	Institut Paul-Scherrer
SAA	Déchets faiblement radioactifs
SMA	Déchets faiblement et moyennement radioactifs
TDL	Dépôt (ou entreposage) durable en profondeur
TP	Phase test
UTL	Laboratoire souterrain
ZL	Dépôt (ou entreposage) intermédiaire
ZWILAG	SA "Zentrales Zwischenlager Würenlingen"
ZZL	Dépôt de la société ZWILAG

### Annexe 3: Gestion des déchets nucléaires en Suisse : dates importantes

- 1957 Article constitutionnel sur l'énergie atomique
- 1959 Loi fédérale sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique et sur la radioprotection
- 1969 Mise en service de la première centrale nucléaire (Beznau I)
- 1972 Fondation de la CEDRA
- 1978 Arrêté fédéral sur la loi sur l'énergie atomique : principe de la responsabilité causale (pollueur-payeur), exigence de "garanties"  
CEDRA : premier projet de gestion des déchets radioactifs en Suisse
- 1980 CEDRA : 12 requêtes pour des forages d'essai dans le nord de la Suisse (sous-sol cristallin, programme HAA)
- 1982 Derniers rejets en haute mer de déchets faiblement à moyennement radioactifs venant de Suisse  
Conseil fédéral : autorisation des forages d'essai dans le sous-sol cristallin  
CEDRA : effectue ces forages d'essai jusqu'en 1989
- 1983 CEDRA : requêtes pour des forages d'essai en vue de trois sites de stockage final SMA (TI, UR, VD)
- 1985 CEDRA : dépose le "projet garantie"  
Conseil fédéral : autorisation d'étudier les trois lieux d'implantation SMA (sans galerie de sondage)
- 1987 CEDRA : dépose une requête pour un sondage au Wellenberg
- 1988 Conseil fédéral : décision relative aux "garanties"  
SMA : justificatif de la gestion fourni  
HAA/LMA : justificatif de sécurité fourni, justificatif de site non fourni, travaux réalisables  
Conseil fédéral : autorisation d'une partie des forages d'essai au Wellenberg  
CEDRA : jusqu'en 1995 effectue des forages d'essai au Wellenberg
- 1989 Ordonnance sur des travaux préparatoires
- 1990 ZWILAG : demande d'autorisation générale pour un stockage intermédiaire central  
Programme "Energie 2000" : conférence sur la gestion des déchets radioactifs
- 1992 DFTCE<sup>1</sup> : constitution d'un groupe de travail constitué de représentants de la Confédération et des quatre cantons potentiels d'implantation pour un stockage final SMA (NW, TI, UR, VD)  
Constitution du groupe de conciliation déchets radioactifs, dissolution prématurée en raison du retrait des organisations écologistes après la décision Mühleberg (prolongation de l'autorisation d'exploitation).
- 1993 Conseil fédéral : autorisation générale pour un stockage intermédiaire central  
Conclusions finales du groupe de travail "Confédération + quatre cantons d'implantation SMA". Résultats disponibles pour le choix d'un site d'implantation  
CEDRA : l'étude du site SMA du Wellenberg doit être poursuivie en toute priorité
- 1994 CEDRA : dépôt d'une demande d'autorisation générale Wellenberg  
CEDRA : dépôt des demandes de sondage Leuggern/Böttstein et Benken  
Le Parlement accorde l'autorisation générale ZWILAG
- 1995 Canton de Nidwald : rejet populaire des projets du Wellenberg :  
recommandation du Conseil d'Etat pour  
l'autorisation générale : 51,9 % de non pour 48,1 % de oui  
concession pour l'utilisation du sous-sol : 52,5 % de non pour 47,5 % de oui
- 1996 Conseil fédéral : autorisation du sondage de Benken (programme HAA)  
Conseil fédéral : permis de construire et autorisation partielle d'exploitation ZWILAG
- 1997 DFTCE : suspension de la demande d'autorisation générale Wellenberg  
Constitution du groupe de travail Wellenberg (aspects techniques et économiques)
- 1998 DETEC : groupe de discussion déchets radioactifs, se sépare sans consensus, rapport Ruh  
Publication des résultats du groupe de travail Wellenberg

<sup>1</sup> DETEC depuis le 1.1.1998

- 1999 Les conseillers fédéraux Leuenberger et Couchepin mènent des entretiens avec les cantons d'implantation, les exploitants et les organisations écologistes pour déterminer la durée d'exploitation des centrales existantes et résoudre le problème de l'élimination des déchets DETEC : constitution du groupe d'experts pour les modèles de gestion des déchets radioactifs

## **Annexe 4 : Lois, ordonnances et directives relatives à l'élimination des déchets radioactifs**

### *Lois*

- Loi fédérale du 23 décembre 1959 sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique (Loi sur l'énergie atomique, LEA) (SR 732.0)
- Arrêté fédéral du 6 octobre 1978 concernant la loi sur l'énergie atomique (SR 732.01)
- Loi fédérale du 18 mars 1983 sur la responsabilité civile en matière nucléaire (LRCN) (SR 732.44)
- Loi du 22 mars 1991 sur la radioprotection (LRaP) (SR 814.50)

### *Ordonnances*

- Ordonnance du 18 janvier 1984 sur les définitions et les autorisations dans le domaine atomique (O atomique, OA) (SR 732.11)
- Ordonnance du 8 juillet 1996 sur les déchets radioactifs soumis à l'obligation de livraison (SR 814.557)
- Ordonnance du 27 novembre 1989 sur les mesures prises en prévision de l'aménagement d'un dépôt de déchets radioactifs (O sur les mesures préparatoires) (SR 732.012).
- Ordonnance du 5 décembre 1983 concernant le fonds pour la désaffectation d'installations nucléaires (SR 732.013)
- Ordonnance du 5 décembre 1983 sur la responsabilité civile en matière nucléaire (ORCN) (SR 732.441)
- Ordonnance du 22 juin 1994 sur la radioprotection (ORaP) (SR 814.501)

### *Conventions internationales*

- Convention du 29 décembre 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets (SR 0.814.287)
- Convention commune sur la sécurité du traitement d'éléments combustibles usés et la sécurité du traitement de déchets radioactifs (non encore en vigueur)

### *Directives de la DSN/HSK*

- DSN/HSK-R-14/d Konditionierung und Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle, Dezember 1988
- DSN/HSK-R-21/d : Schutzziele für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, November 1993

### *Recommandations de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), Vienne*

- The Principles of Radioactive Waste Management. Safety series N° 111-F, 1995
- Establishing a National System for Radioactive Waste Management. Safety series N° 111-S-1, 1995