

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

*RELATIVE AUX RECHERCHES SUR LA GESTION
DES DECHETS RADIOACTIFS*

Instituée par la loi 91-1381 du 30 décembre 1991

**REFLEXIONS SUR LA
REVERSIBILITE
DES STOCKAGES**



~ Juin 1998 ~

SOMMAIRE

	Pages
<u>RESUME ET PRINCIPALES CONCLUSIONS</u>	I à IX
<u>INTRODUCTION</u>	1 à 2
<u>CHAPITRE I - La loi du 30 décembre 1991 et le cadre existant</u>	3 à 8
I.1 - <u>La loi du 30 décembre 1991</u>	
I.2 - <u>Les réflexions de la Commission Nationale d'Evaluation présentées dans le rapport n° 3 (septembre 1997)</u>	
I.3 -Aide-mémoire juridique du principe de la réversibilité des déchets	
I.3.1 -Les textes internationaux	
I.3.2 -Les textes communautaires	
I.3.3 -Le droit interne	
I.3.4 -La jurisprudence de Droit Français	
I.3.5 -L'application pratique	
I.3.6 -La Convention commune sur la sûreté et la gestion du combustible usé et sur la gestion des déchets radioactifs.	
<u>CHAPITRE II - Les motivations de la réversibilité</u>	9 à 11
<u>CHAPITRE III - Les critères à satisfaire pour la réversibilité d'un stockage géologique</u>	12 à 20
III.1 - <u>La sûreté du stockage à tous les stades</u>	
III.2 - <u>La protection de l'homme et de son environnement</u>	
III.3 - <u>Le coût et la compétitivité industrielle</u>	
III.4 - <u>La protection contre la malveillance et la prolifération</u>	
III.5 - <u>La satisfaction de ces critères : plusieurs solutions et des coûts différents</u>	
<u>CHAPITRE IV – Le concept de réversibilité, pour quels déchets <u>pour quelles durées ?</u></u>	21 à 27Et
IV.1 - <u>Les produits en amont du réacteur</u>	
<u>IV.2 -Les produits en aval du réacteur</u>	
IV.2.1. -Les matières nucléaires	
IV.2.2. -Les déchets	
IV.3 - <u>Autres déchets</u>	
IV.4 - <u>La durée de la réversibilité</u>	

CHAPITRE V -Quelles recherches à exécuter pour assurer d'ici 2006 la faisabilité de la réversibilité d'un avant-projet de stockage ?

28 à 37

V.1 - Principaux domaines de recherche

V.1.1. -L'inventaire des déchets

V.1.2. -La tenue des colis : conteneurs et surconteneurs

V.1.3. L'ingénierie et les concepts du stockage

V.1.4. -Le comportement du milieu et son évolution

V.1.5. La sûreté à tous les stades

V.1.6. -La démonstration de la réversibilité

V.2 -Domaines d'études pour éclairer en 2006 les décisions à prendre pour l'avant-projet de stockage

V.2.1. -Le suivi et la surveillance du stockage

V.2.2. -L'évaluation et la gestion des déchets pendant et après reprise

V.2.3. -L'évaluation technico-économique des diverses options, des niveaux et de la durée de réversibilité.

V.2.4. -Les étapes et phases décisionnelles à envisager pour le stockage réversible.

CHAPITRE VI : CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS

38 à 42

ANNEXES

1 - LETTRE DE MISSION DU GOUVERNEMENT 43 A 44

2 - HISTORIQUE DE LA NOTION DE REVERSIBILITE DANS LA LOI DE 1991 45 A 54

2.1 - Evolution de la notion de réversibilité avant la promulgation de la loi

2.1.1 - Présentation du projet de la loi devant la Commission de la Production et des Echanges

2.1.2 - Présentation du projet de loi devant l'Assemblée Nationale et le Sénat

2.1.2.1 - Les discussions sur la réversibilité

2.1.2.2 - Objectifs défendus par un certain nombre de parlementaires

2.1.2.3 - Opposition entre le terme réversibilité ou irréversibilité

2.1.2.4 - Les domaines de la réversibilité et de l'irréversibilité

2.1.2.5 - Clarification de la notion de réversibilité par rapport aux laboratoires souterrains

2.1.2.6 - Les motivations de la réversibilité

2.1.2.7 - Le point particulier du stockage des déchets B

2.2 - La mission de médiation sur l'implantation de laboratoires souterrains de recherche par Monsieur le Député Christian BATAILLE (D.A.I.E.)

2.3 - La réversibilité dans l'enquête publique sur les Demande d'Autorisation d'Implantation et d'Exploitation des Laboratoires Souterrains

3 - LA SITUATION INTERNATIONALE SUR LA REVERSIBILITE

55 A 66

3.1 - Examen de la situation du stockage réversible ou irréversible à l'étranger ; comparaison avec la situation en France

3.2 - Les actions concertées internationales en matière d'études sur la réversibilité

3.3 - La réversibilité du stockage : cas de la Suisse

3.4 - La réversibilité ou l'irréversibilité des stockages : quelles solutions proposées au niveau international ?

4 - GLOSSAIRE

67 A 76

4.1 - Définitions

4.2 - Acronymes

4.3 - Terminologie

REFLEXIONS SUR LA REVERSIBILITE

Résumé et Principales Conclusions

A. MOTIVATIONS DE LA REVERSIBILITE

Le problème de la réversibilité du stockage des déchets nucléaires comprend l'ensemble des mesures techniques et administratives permettant de pouvoir, si on le désire, reprendre la matière considérée comme déchet de façon sûre, avec un avantage net pour la société. Cet avantage peut être basé sur des progrès scientifiques et technologiques (par exemple des avancées sur la transmutation permettant de diminuer la nocivité potentielle des radionucléides à haute activité et à vie longue), sur une évolution économique (valeur énergétique des déchets), sur des considérations de sûreté (mauvaise évaluation initiale du risque décelée par un contrôle permanent) ou d'éthique (ne pas imposer nos choix aux générations futures). Dès le débat sur la loi de 1991, le souci de ne rien engager d'irréversible était apparu, ouvrant ainsi la porte à la notion de réversibilité potentielle d'un stockage et de reprise effective des colis placés dans ce stockage. Le même souci se retrouve dans le rapport de Monsieur le député Christian BATAILLE (20 décembre 1993) qui accorde de l'importance aux dispositifs de réversibilité, lesquels constituent une " garantie autant scientifique que morale ".

Des discussions scientifiques et techniques comparent les avantages et les champs d'application respectifs de l'entreposage de longue durée en surface ou subsurface, et ceux du stockage géologique réversible ou non, ou encore les types de barrières les plus efficaces pour assurer la sûreté en toute circonstance. Il apparaît cependant que le point sensible du débat ne se situe pas entre ces divers concepts techniques. Ceux-ci sont en effet tous susceptibles de conformité avec la législation existante dans de nombreux pays et ils peuvent donc rencontrer l'accord des autorités de sûreté chargées de son application. La motivation première de la réversibilité émerge essentiellement du débat entre une position " scientifique et technique " et une position " éthique " et donc " politique ". Rien ne sera acquis concernant le destin final des déchets nucléaires tant que la conviction de la collectivité sur la qualité et la robustesse des solutions retenues ne sera pas solidement établie. La mission de médiation menée par Monsieur le député Christian BATAILLE et Monsieur le préfet Jacques MONESTIER a œuvré dans ce sens. De son côté, la Commission Nationale d'Evaluation (CNE) s'est efforcée de faire preuve du maximum de transparence, et d'explication, tant lors des présentations publiques de son rapport annuel que lors de ses contacts avec les instances locales d'information établies par la loi. La CNE a présenté une première réflexion sur la réversibilité dans son rapport n° 3. C'est dans la continuité de cette démarche que le présent rapport tente de proposer des orientations acceptables par étapes. Nous disposons, aujourd'hui, d'un délai suffisant pour aboutir à une acceptabilité par tous les acteurs concernés et par l'opinion publique autour des options techniques de la gestion ultime des déchets lorsque le Parlement se prononcera sur la réalisation d'ouvrages permanents en 2006. Si cette décision est positive, la réalisation, puis l'exploitation de ces ouvrages représenteront environ 70 ans, offrant un délai supplémentaire à la décision sur les niveaux de réversibilité souhaités.

B. ASPECTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES DE LA REVERSIBILITE

Les motivations techniques pour assurer une réversibilité, évoquées par un ou plusieurs acteurs de la loi, scientifiques et industriels, portent sur les progrès futurs de la science, la protection de l'homme ou l'évolution de la conjoncture économique.

Les résultats attendus de la transmutation (axe 1 de la loi de 1991) pourraient justifier une reprise des déchets de haute activité à vie longue pour en diminuer la nocivité. L'évolution de l'économie des diverses énergies primaires, associée à des progrès importants dans le domaine des réacteurs et des cycles correspondants, pourrait conduire à la reprise des combustibles usés non retraités -qui ne sont pas considérés en France comme des déchets ultimes* - pour en extraire le plutonium et l'uranium. Des développements techniques difficilement prévisibles à ce jour, dans les domaines industriel ou médical, pourraient également inciter à rechercher des éléments contenus dans les colis de verres et les combustibles usés (métaux de la mine du platine* pour les piles à combustible qui sont des convertisseurs d'énergie propre, radionucléides pour les applications médicales, etc...). On peut cependant se demander s'il ne vaudrait pas mieux les produire *de novo* que de reprendre et ouvrir des colis anciens de déchets, avec les risques que cela comporte.

Enfin, les motivations techniques n'excluent pas le cas de suspicion de défaillance de la sûreté du stockage, mais il est clair que, s'il existe le moindre doute sur l'évaluation du risque lié à un projet de stockage, il est impératif de ne pas utiliser cet ouvrage pour y déposer des déchets nucléaires.

Les discussions ont fait clairement apparaître trois éléments essentiels qu'il est nécessaire de connaître pour une gestion raisonnée des déchets selon un mode réversible, et qui nous font assez largement défaut :

- a - L'inventaire effectif des radionucléides, souvent réclamé par la CNE, dont une première version est promise pour fin 1998 ; il permettrait de distinguer plus clairement les déchets pour lesquels le concept de réversibilité aurait peu de justification pour des raisons de sûreté, techniques ou économiques. On ne dispose réellement à ce jour que des volumes de déchets produits par catégories de spécification, mais sans référence précise au contenu radioactif et chimique. Il conviendrait d'accélérer le processus d'inventaire.
- b - Les colis qui seraient mis en place dans un stockage et, éventuellement récupérés après un certain délai : nature des conteneurs et surconteneurs ; leur géométrie, épaisseur, hauteur, diamètre, masse et composition sont des caractéristiques essentielles pour évaluer leur durabilité et les manutentions nécessaires pour les reprendre. Là encore, il s'agit, parmi les informations fournies, d'une lacune mise en évidence par les rapports de la CNE ; cette lacune est l'un des éléments qui ont amené des instructions spécifiques des pouvoirs publics en 1997 sur l'axe 3 de la loi.
- c - Les concepts d'ingénierie comprenant en particulier l'architecture générale de l'ouvrage, le mode de manutention des charges et de remplissage des fosses, silos ou alvéoles, qui devront l'un et l'autre respecter des contraintes liées à la nature des radionucléides, aux caractéristiques des différentes matrices de conditionnement et de leur conteneur ; ce problème s'applique à tout type d'installation d'entreposage ou de stockage (surface, subsurface, profond).

* Terme défini dans le glossaire

On voit que l'établissement de l'inventaire et la définition des conteneurs sont, entre autres, des questions qui méritent une réponse aussi rapide que possible, même s'ils sont sans lien immédiat avec les demandes en cours relatives à l'implantation des laboratoires souterrains. Les concepts d'ingénierie auront bien sûr une influence déterminante sur les propositions qui seront présentées en 2006 aux pouvoirs publics pour autoriser un ou des stockages.

Le stockage réversible devra, en tout état de cause, assurer une sûreté à long terme qui ne peut être d'un niveau moindre que celle d'un stockage irréversible. Les critères à respecter seront les mêmes : absence de dissémination des radionucléides, radioprotection, garanties contre l'intrusion humaine et la malveillance, ainsi que contre la prolifération des armes nucléaires si des quantités importantes de plutonium y étaient placées, puis confinement ultérieur le plus long possible. L'ensemble doit constituer une position équitable vis-à-vis des populations présentes et futures, et maintenir des coûts qui assurent la compétitivité de l'industrie nucléaire. Plusieurs solutions permettent souvent de satisfaire chacun de ces critères, sans que l'optimum pour un critère le soit également pour les autres. L'examen de la réversibilité d'un stockage ne peut être dissocié de considérations sur l'entreposage, ne serait-ce qu'en cas de reprise des colis. On peut alors envisager les situations suivantes qui

permettent des optimisations :

- l'entreposage de longue durée en surface ou en subsurface^{**}, le plus simple, parfaitement réversible, mais se terminant nécessairement par une reprise des dépôts,
- l'entreposage géologique convertible en stockage géologique dit "réversible", avec divers degrés de réversibilité, décroissant selon les barrières que l'on établit au niveau du colis de déchet, de l'alvéole, de la galerie secondaire ou principale, et finalement du puits ou de la galerie d'accès depuis l'extérieur ; à mesure que des barrières seront mises en place, la réversibilité, aisée pendant la phase de remplissage, devient un exercice de travaux publics s'il faut rouvrir des cavités remblayées et obturées. Si l'ensemble du site a été abandonné, sa reprise, plus complexe, relève de l'exploitation minière,
- le stockage géologique dit "irréversible" dans lequel la reprise des colis, possible même après fermeture du site, serait cependant très lourde : elle ferait alors appel à des techniques minières classiques tant que l'intégrité des colis serait préservée, et à des techniques avancées si l'intégrité des colis n'était plus assurée. A titre d'exemple d'ingénierie minière, les méthodes d'exploitation, autorisées pour le gisement canadien de Cigar Lake exceptionnellement riche en uranium, montrent que l'on peut extraire des substances hautement radioactives du sous-sol avec des techniques d'exploitation minière automatisées, même dans un milieu où le niveau de radioactivité ne permet pas l'accès direct de l'homme.

La composante économique de ces options devra être prise en compte et une estimation des coûts des différentes étapes de la réversibilité devra être établie.

^{**} le mot subsurface est utilisé dans ce texte pour désigner des ouvrages situés à une faible profondeur (quelques dizaines de mètres sous la surface du sol), galeries creusées à flanc de colline ou de montagne par exemple, permettant l'accès par une voie horizontale ou peu pentue.

C. PERCEPTION ET REPRESENTATION DU ROLE DE LA REVERSIBILITE

La protection de l'homme et les droits des générations futures sont au coeur des préoccupations exprimées par une partie du public en faveur de la réversibilité. Le souci de laisser à ces générations le libre choix de placer les déchets en stockage définitif ou de les reprendre est associé à la volonté de ne pas reporter toute la charge du problème sur ces générations, c'est-à-dire de leur fournir une solution acceptable, s'ils n'en ont pas trouvé de meilleure, sans la leur imposer de façon définitive. Les motivations techniques, évoquées plus haut, sont considérées par certains points de vue extrêmes comme dérisoires. Selon la parole d'un des intervenants, lors d'une audition, la réversibilité vise à éviter " le jugement de Dieu : vous avez commis une grave erreur, et elle est irréversible ! " ... L'expérience du stockage de surface du Centre de la Manche met également en évidence que la réversibilité n'est effectivement mise en œuvre que si elle est définie au départ, notamment dans le cas de la reprise de déchets " hors normes " décrits dans le rapport de la Commission TURPIN*, déchets pour lesquels on a renoncé à la reprise suite à une analyse coût-bénéfice.

En face de ces positions, la motivation principale de la réversibilité change de nature. Il s'agit avant tout de conserver la possibilité d'une éventuelle action de réparation si l'évolution observée des déchets ou du milieu montrait que les ingénieurs avaient fait fausse route, suite à une mauvaise évaluation du risque. Dans ce schéma, l'analyse ne se borne plus à un enchaînement déchets/mécanismes physiques et chimiques/action sur la biosphère et l'homme/coût-efficacité des solutions/décision, mais fait intervenir une rétroaction qui prend en compte la perception du danger par le public et la représentation qu'il s'en fait ainsi que diverses exigences concernant la gestion à long terme des déchets qui en résultent. Contrairement aux stratégies dites de communication, la circulation d'une information honnête, transparente et accessible joue alors un rôle de premier plan. Le retour de la représentation du danger et de ses conséquences depuis le public jusqu'aux décideurs s'opère tant par les élus locaux et les instances locales de concertation que par les associations. Il devrait permettre, de fait, l'amélioration des projets techniques.

Le souci des générations futures est une préoccupation d'éthique qui s'impose certainement à tous et est indépendante de la situation économique ou même des choix de société. Il faut cependant être conscient de divers aspects souvent oubliés. C'est ainsi que l'accumulation des mesures destinées à assurer la sûreté à long terme d'un stockage représente autant d'obstacles supplémentaires à la réversibilité. De son côté, un stockage irréversible impose de garder la mémoire de celui-ci, pour éviter tout incident malencontreux tel un forage qui viendrait à le traverser. En dernier lieu, il faut prendre garde au fait qu'en cas de changement profond dans la société, il faut éviter qu'un stockage, dont la fermeture aurait été retardée, ne constitue une source accrue de risque, pour une société qui aurait pu perdre le savoir-faire permettant d'y porter remède.

L'une des propositions émises concerne un entreposage en profondeur convertible en stockage (stockage géologique réversible) : l'architecture est celle d'un ouvrage permanent, les fermetures partielles, puis totales, interviennent après un temps suffisamment long d'observations. A tout moment, on peut interrompre le processus et reprendre les colis de manière relativement aisée. Cette approche incrémentale permet une phase probatoire pour une opération qui n'a encore jamais été faite, c'est-à-dire assure certaines garanties. Aujourd'hui, dans cette hypothèse, il est seulement nécessaire de décider les expériences à mener dans des laboratoires souterrains et d'organiser le débat pour préparer une décision difficile qui devra être prise par l'une des générations suivantes. Dans cette solution, la durée de la réversibilité, et donc le délai de décision, ne

* Terme défini dans le glossaire

saurait se prolonger trop longtemps (tenue des colis en milieu oxydant, maintenance et surveillance prolongées, tenue mécanique des ouvrages et soutènement, exhaure, aléas politiques ou sociaux imprévisibles sur une longue période).

A l'inverse, l'entreposage de longue durée en surface ou subsurface de déchets présente l'avantage de la simplicité, ne nécessite pas de décision immédiate sur l'avenir, mais oblige à traiter un jour le problème du stockage permanent ; il présente un surcoût évident puisqu'il faut un second investissement, et renvoie la charge de la décision aux générations futures.

Le choix sur la réversibilité et sur les processus retenus devra être fait pour l'élaboration de l'avant-projet qui sera soumis au Parlement en 2006. Le stockage définitif présente les meilleures garanties techniques de sûreté initiales, dans l'état actuel des connaissances ; il évolue, après fermeture comme le milieu géologique. Mais la sûreté technique n'est pas suffisante, si la confiance et l'adhésion du public manquent. La crainte d'une "décision irréversible immédiate" conduirait plutôt à consacrer plus de temps à mieux établir la qualité du site par une observation de fonctionnement sur une longue période et, ainsi, à mieux établir la crédibilité des solutions techniques retenues. Pour cela, le délai de la décision cruciale doit être assez long, mais limité à quelques décennies. Augmenter la durée de l'observation, tenir le public informé des résultats et améliorer ainsi la perception du problème, développer une approche pas à pas qui, au vu des résultats de chaque étape, peut entraîner progressivement l'acceptation sociale semble la meilleure voie. La réversibilité ainsi prolongée, même si la reprise des colis devient de moins en moins probable, permettrait néanmoins une intervention si un élément essentiel (technique ou non technique) avait été oublié.

D. PROPOSITIONS DE LA CNE

La demande du Gouvernement du 2 février 1998 adressée à la CNE vise non seulement une évaluation mais surtout une réflexion sur la réversibilité. Dans ce cas particulier, la Commission estime souhaitable d'inclure dans sa conclusion des propositions concernant les diverses catégories de déchets et les études générales à mener.

La loi du 13 juillet 1992 sur le stockage des déchets industriels indique que l'élimination des déchets par abandon en stockage ne peut concerner que des déchets ultimes*. *A contrario*, toute matière valorisable doit aller en entreposage. Tout doit être fait pour diminuer le caractère polluant et dangereux des déchets ultimes*.

La CNE rappelle que les dispositions prises pour assurer la réversibilité ne doivent pas diminuer la sûreté du stockage et que la mise en œuvre de la réversibilité ne peut être envisagée de manière indéfinie mais doit être reconduite par périodes bien définies.

Dans cette perspective :

- 1 - Les combustibles nucléaires usés sont clairement un matériau potentiellement valorisable, donc justiciables d'un entreposage ; l'entreposage de longue durée en surface ou en galerie de subsurface semble le mieux adapté à la volonté de préserver la possibilité de reprendre ces matières pour les valoriser ou les transformer.

* Terme défini dans le glossaire

- 2 - Les déchets B* sont clairement des déchets ultimes* : les chances d'en retirer une substance valorisable ou d'en diminuer la nocivité par transmutation paraissent nulles ; leur activité est modérée ; ils sont donc justiciables d'un stockage définitif en profondeur*, s'ils sont conformes aux spécifications, tel que le prévoit la loi de 1991. Les conditions techniques sont simples puisque ces déchets ne posent pas de problème thermique. Ceci implique que les colis de déchets mais surtout les barrières ouvragées et la barrière géologique assurent la sûreté à long terme. En surface, par contre, les risques de retour rapide à la biosphère et l'intrusion humaine n'apportent pas les mêmes garanties de sûreté à long terme. Les déchets B hors spécifications devront être remis aux normes après un entreposage approprié, si nécessaire.
- 3 - Les verres, très fortement radioactifs, renferment des substances potentiellement valorisables, ou transmutables (actinides mineurs, produits de fission à vie longue) ; mais leur reprise est loin d'être facile. Quelle que soit l'issue des études sur la faisabilité et l'intérêt d'une telle reprise, une assez longue période d'entreposage en surface est requise pour leur " refroidissement ", période qui devrait être mise à profit pour des investigations supplémentaires de nature scientifique et économique. Les verres actuellement entreposés dans l'enceinte des usines de retraitement pourraient le rester pendant des périodes définies éventuellement reconductibles ; à ce jour la période est de 50 ans pour l'usine de La Hague. A l'issue de ces périodes, ou bien les recherches sur l'axe 1 seront en voie de succès et la décision de reprise se posera surtout en termes économiques, ou bien, si elles n'ont pas abouti, le stockage définitif deviendra la solution de référence pour leur élimination.
- 4 - Enfin, il convient de considérer aussi le cas des calcinats de produits de fission** qui sont produits lors de la première phase de vitrification. Des études devront être menées pour déterminer dans quelles conditions et sous quelles formes, plus faciles à reprendre que les verres, ils seraient susceptibles d'un entreposage dans l'attente d'une mise en œuvre éventuelle de la séparation et de la transmutation (axe 1). A condition de ne pas amoindrir le niveau de sûreté pendant la période d'entreposage, cette voie pourrait apporter une contribution significative au caractère de réversibilité de la gestion de l'aval du cycle.

Selon les choix de dispositifs d'entreposage ou de stockage, deux barrières de sûreté jouent un rôle très différent :

en entreposage de surface ou subsurface, la *barrière géologique* n'a plus de rôle, si ce n'est d'offrir dans le cas de la subsurface un matériau peu coûteux pour parer aux intrusions humaines, chutes d'avion, voire séismes : les formations géologiques jouent alors le rôle de " béton gratuit ". Le confinement est uniquement assuré par le *conteneur* qui doit être de haute qualité. Compte tenu des faibles quantités concernées (quelques milliers de tonnes), cette situation nous paraît la meilleure pour les combustibles irradiés -hors piscine- et éventuellement les colis de verre (déchets C*). On peut raisonnablement penser que le conteneurage de haute qualité est réalisable, sans obstacle majeur. Ceci n'est pas le cas pour les déchets B*.

Une préférence est exprimée en faveur de galeries souterraines, à flanc de colline ou de montagne, comme dans le projet d'ouvrage préparé par la NAGRA-CEDRA* pour Wellenberg* (Suisse) : les camions ou les wagons peuvent pénétrer de

* Terme défini dans le glossaire

** La Commission fait sienne l'idée émise ici par le professeur CASTAING lors de la dernière réunion à laquelle il a participé (audition du 26 février 1998)

* Terme défini dans le glossaire

niveau dans la galerie principale, la présence d'un environnement géologique permet de disposer des protections passives évoquées ci-dessus. La réversibilité est simple puisque les véhicules et engins de manutention peuvent pénétrer jusqu'au lieu de l'entreposage.

- en profondeur, la *barrière géologique* joue un rôle spécifique autour du stockage supposé réversible pendant sa phase d'exploitation (50 à 70 ans) et irréversible après la fermeture définitive. Aux termes de la RFS III.2f*, elle doit pouvoir constituer par elle-même une barrière empêchant le retour des radionucléides vers l'homme et la biosphère. Cette situation nous paraît la meilleure pour les déchets B* : ceux-ci représentent des volumes très importants, avec des conditionnements très divers, ou même en attente de conditionnement. Au total, leur évaluation** pour le dimensionnement du stockage est de 135 000 m³ dont environ 50 000 m³ sont prévus en 2020. L'abondance et la diversité des déchets B laisse peu d'espoir de les voir placer dans des *conteneurs* de longue durée de vie pour les installer de façon sûre en surface ou subsurface. En profondeur, la barrière géologique (par exemple une argile) est amenée à jouer ici le rôle le plus important.

On pourrait, de plus, penser à un revêtement des conteneurs susceptibles de prolonger leur durée de vie en retardant les interactions entre d'éventuelles eaux souterraines et les bétons ou les bitumes de la matrice.

Comme il a été indiqué précédemment, la Commission considère que la réversibilité d'un tel stockage restera toujours possible mais elle recommande que sa conception facilite au maximum la mise en œuvre éventuelle de la réversibilité sans réduire en aucune façon la sûreté intrinsèque du stockage.

Dans tous les cas envisagés, la simulation numérique va jouer un rôle central, à cause de l'impossibilité d'expérimenter sur des périodes longues. Il conviendra donc d'accorder une attention toute particulière aux modèles, à leur domaine de validité, à leurs performances et à leur validation.

De même, il sera nécessaire de conduire des évaluations de risque et de sûreté ainsi que des études d'ingénierie, associées à tout projet de conception d'un stockage, pour démontrer que les moyens techniques nécessaires à la réversibilité sur plusieurs décennies existent avec la robustesse requise à chaque étape et à chaque niveau. Ces études permettraient de s'assurer que le projet de stockage ne possède aucune caractéristique critique qui pourrait s'opposer à la réversibilité. Menées avec toute la transparence souhaitable, elles permettraient au public de disposer d'une présentation claire des moyens disponibles pour protéger l'homme et son environnement.

La loi de 1991 prévoit la réalisation de laboratoires souterrains. Qu'un éventuel stockage soit réversible ou irréversible, les expérimentations et démonstrations seront nécessaires notamment en laboratoire souterrain. La procédure générale s'appuyant sur des puits et des galeries est une technique minière classique qui paraît appropriée. Ces travaux devront bénéficier d'une durée suffisante pour apporter les éléments indispensables pour l'avant-projet de stockage. Les recommandations de la CNE confirment, au moins pour une catégorie de déchets représentant de gros volumes, la nécessité de ces études en vue d'une décision qui sera prise par les pouvoirs publics en 2006.

INTRODUCTION

** audition du 8 janvier 1998 et inventaire ANDRA transmis le 14 mai 1998.

Le Conseil Interministériel du 2 février 1998, définissant les orientations gouvernementales sur la politique nucléaire et la diversification énergétique a confié à la Commission Nationale d'Evaluation (CNE) la tâche “ de poursuivre sa réflexion sur la réversibilité (des stockages) et les moyens de l'assurer ”. La lettre ministérielle du 30 avril 1998, jointe dans l'annexe 1 de ce rapport, confirme et explicite cette décision gouvernementale.

Afin de répondre en temps utile à cette demande gouvernementale, la Commission a programmé un certain nombre de réunions et d'auditions.

Une audition spécifique sur la réversibilité a été organisée le 7 avril 1998 au cours de laquelle les acteurs de la loi se sont exprimés sur ces sujets ; à cette occasion, chaque organisme a fourni au préalable à la Commission un document exposant les principaux points de sa réflexion dans son domaine.

Pour compléter l'information obtenue pour le rapport n° 3 auprès de trois experts internationaux consultés (Collin ALLAN, Jean-Paul MINON et Claes THEGERSTRÖM), la Commission a entendu successivement le 31 mars 1998 Monsieur Christian DEVILLERS, Ancien Directeur Délégué à la Sûreté des Déchets de l'IPSN et le 6 avril 1998 Monsieur Piet ZUIDEMA de la NAGRA-CEDRA*, coorganisateur avec Monsieur Claes THEGERSTRÖM (SKB*- Suède) d'un colloque du 6 au 8 octobre 1997 à Lucerne (Suisse) sur la réversibilité des stockages. Ce colloque a rassemblé trente deux agences ou organismes impliqués dans le stockage des déchets radioactifs.

La Commission a également auditionné Yannick BARTHE, chercheur au Centre de Sociologie de l'Innovation (CSI) de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris et Martin O'CONNOR du Centre d'Economie et d'Ethique pour l'Environnement et le Développement (C3ED) de l'Université de Versailles - Saint-Quentin-en-Yvelines. La Commission a, par ailleurs, rencontré l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques le 14 mai 1998 ainsi que la Direction de la Sûreté Nucléaire le 16 mars 1998.

Concernant certaines associations scientifiques impliquées dans le domaine nucléaire (GSIEN*, CRII-RAD*), une audition spécifique a été organisée le 28 avril 1998, après remise au préalable d'un document précisant l'état de leur réflexions sur la réversibilité.

Enfin, le Président et le Secrétaire Scientifique de la Commission ont rencontré le 27 février 1998 et le 3 juin 1998, Monsieur Philippe SAUZAY, Conseiller d'Etat qui a bien voulu relire, sous l'aspect juridique, les réflexions de la Commission.

C'est à partir des auditions scientifiques, des réunions d'échange ainsi que des documents remis, que la Commission Nationale d'Evaluation a poursuivi sa réflexion et élaboré le présent document sur la réversibilité des stockages qui a été approuvé unanimement par ses membres et qui sera remis avant la fin du premier semestre 1998 au Gouvernement comme il en avait fait la demande.

*Terme défini dans le glossaire

CHAPITRE I. - LA LOI DU 30 DECEMBRE 1991 ET LE CADRE EXISTANT

I.1 - La loi n° 91.1381 du 30 décembre 1991

La loi du 30 décembre 1991, relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, aborde la question de la réversibilité des stockages en formations géologiques profondes en trois points qui sont rappelés dans l'encadré ci-joint :

Dans l'article 2, il est rappelé que dans l'article 3 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, il est inséré un article 3-1 ainsi rédigé :

“ Art. 3-1 - Le stockage souterrain en couches géologiques profondes de produits dangereux, de quelque nature qu'ils soient, est soumis à autorisation administrative. Cette autorisation ne peut être accordée ou prolongée que pour une durée limitée et peut en conséquence prévoir les conditions de réversibilité du stockage. Les produits doivent être retirés à l'expiration de l'autorisation.

Les conditions et garanties selon lesquelles certaines autorisations peuvent être accordées ou prolongées pour une durée illimitée, par dérogation aux dispositions de l'alinéa précédent, seront définies dans une loi ultérieure ”.

Dans l'article 4, traitant des recherches sur la gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue, il est écrit :

“ l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains, ”.

Enfin, dans l'article 5, il est écrit :

“ Les conditions dans lesquelles sont mis en place et exploités les laboratoires souterrains destinés à étudier les formations géologiques profondes où seraient susceptibles d'être stockés ou entreposés les déchets radioactifs à haute activité et à vie longue sont déterminées par les articles 6 à 12 ci-dessous ”.

I.2 - Les réflexions de la Commission Nationale d'Evaluation présentées dans le rapport n° 3 (septembre 1997)

Après avoir auditionné trois experts étrangers sur la réversibilité en janvier 1997, la Commission a poursuivi en interne les échanges sur ce sujet et a présenté dans le rapport n° 3 l'état de sa propre réflexion dont on rappelle ci-après quelques points forts qui permettront d'éclairer la démarche de la Commission dans ce rapport spécifique.

La loi du 30 décembre 1991 ne porte que sur les recherches à mener et notamment en laboratoires souterrains. Il est clairement défini que la décision d'implantation d'un stockage de déchets radioactifs ne pourra être prise que dans le cadre

d'une nouvelle loi. Néanmoins les études ont pour objet d'aboutir à un avant-projet de stockage définitif et qui peut être réversible ou irréversible tel que mentionné dans l'article 4.

Les recherches en laboratoires doivent donc prendre en compte les deux options de réversibilité et d'irréversibilité d'un stockage.

La réversibilité telle qu'elle est présentée dans la loi se rapporte à ce que l'on appelle la "réversibilité de positionnement", c'est-à-dire à la récupération des colis pour les transférer en un autre lieu, quel que soit le motif de cette récupération. La réversibilité de positionnement se distingue de la réversibilité de conditionnement qui correspond à une reprise des colis pour modifier leur conditionnement, par exemple la reprise des déchets bitumés pour éliminer le bitume et le remplacer par une autre matrice de conditionnement. La réversibilité de conditionnement peut être une des motivations de la reprise de positionnement. D'autres raisons peuvent être imaginées bien qu'il soit difficile de prévoir à quelques dizaines d'années voire quelques siècles de distance ce qui pourrait motiver les générations suivantes de décider une récupération de déchets stockés. Quoiqu'il en soit, le principe de réversibilité apparaît comme le corollaire des droits des générations futures.

La Commission a particulièrement souligné certains points concernant la justification de la réversibilité, les conditions auxquelles elle doit répondre notamment en fonction du temps.

Envisager une récupération des colis ne peut être justifié par une inquiétude sur les imperfections de la réalisation du stockage ou des doutes identifiés sur le comportement à long terme du stockage et sa sûreté. Si tel était le cas, la Commission estime alors, qu'il ne faudrait pas prendre la décision de réaliser ou de sceller un tel stockage.

En d'autres termes, la Commission considère que la prise en compte dans les objectifs d'une réversibilité du stockage ne peut pas permettre de faire l'économie de l'excellence du stockage.

Toutefois, on peut imaginer que des événements imprévus, favorables ou défavorables, surviennent dans les décennies ou siècles prochains et qu'ils puissent justifier, aux yeux des générations futures la prise de décision de récupération des colis. Ces événements peuvent être des améliorations des techniques, telles que leur application puisse justifier la reprise des colis en termes d'amélioration de sûreté. Ils peuvent aussi être dus à des événements et perturbations non prévisibles au moment de la réalisation du stockage (phénomènes naturels majeurs), ou, encore, à un intérêt très élevé pour la récupération de certains éléments contenus dans le stockage (par exemple les éléments de la mine du platine).

Donc, au cours de la phase d'exploitation et avant scellement, la Commission considère que la réversibilité est imposée par la loi et que tous les contrôles doivent être faits, par la mise en place de capteurs appropriés, de la vérification, au moins à court terme, des données du site utilisées pour la modélisation du comportement à long terme du stockage.

Les dispositions techniques qui pourraient être prises pour faciliter une reprise ultérieure des déchets ne doivent, en aucun cas, affaiblir la sûreté passive du stockage.

Après la mise en place du dernier colis, une décision prévue par la réglementation devra être prise en ce qui concerne la date et les conditions du scellement du stockage. Une période probatoire ou de réflexion pourra éventuellement être décidée, le stockage étant alors en situation d'entreposage en profondeur.

Après scellement, la Commission considère qu'on ne peut se prononcer sur la durée de la réversibilité. Cette durée dépend de plusieurs paramètres.

Le terme de réversibilité peut être respecté pendant toute la durée d'intégrité des colis qui pourraient être transférés avec la protection de l'emballage qui a servi à leur mise en place et les dispositifs de manutention associés.

On peut estimer aujourd'hui que la durée d'intégrité des colis peut être très variable d'une catégorie de colis à une autre ; la question peut donc être posée sur le plan de la cohérence pour la longévité de tous les colis mis en situation de stockage profond. Une autre approche pourrait porter sur un concept modulaire de stockage par catégories de colis afin qu'il n'y ait pas d'interférence en raison de la durée de longévité des différents colis sur la réversibilité d'ensemble du stockage.

A plus long terme, et, en particulier, si l'intégrité de confinement des colis n'est plus garantie, le terme de réversibilité perd son sens propre et on peut définir celle-ci comme une reprise ou une récupération des radionucléides stockés dans leur champ proche ; cette récupération relève alors du domaine des travaux miniers.

Cette récupération à long terme peut devenir difficile mais non impossible si les moyens nécessaires sont considérés comme justifiés par les générations futures.

Il est bien sûr nécessaire dans un tel contexte que la mémoire du stockage soit conservée et que des dispositions soient prises pour garantir cet objectif sur des périodes de temps appropriées.

I.3 - Aide-mémoire juridique du principe de la réversibilité des déchets

La gestion des déchets radioactifs* ne peut être complètement indépendante de celle des autres déchets (toxiques, chimiques, industriels, agricoles, ménagers, hospitaliers ...) du moins pour certains aspects (protection de l'homme, de l'environnement ...). Le concept de stockage réversible ou irréversible, qui n'est pas totalement défini à ce jour, doit être examiné dans le cadre des textes et des directives qui existent sur le principe de réversibilité pour les déchets en général.

I.3.1 - Les textes internationaux

La déclaration de RIO (1992) fixe le principe de "précaution" dont la réversibilité est une modalité d'application particulière. Elle indique notamment dans son principe n° 15 : " *en cas de risques de dommages graves, l'absence de certitudes scientifiques ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement* ".

I.3.2 - Les textes communautaires

Les directives Européennes 75/442 CEE* du 15/07/75 et 91/156/CEE* du 18/03/91 en donnant priorité à la récupération des déchets et à leur valorisation par recyclage favorisent le principe de réversibilité.

* Terme défini dans le glossaire

I.3.3 - Le droit interne

La loi du 30/12/91 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs introduit le principe de réversibilité en complétant la loi 76-663 du 19/07/76 sur les ICPE* par un article 3-1 selon lequel l'autorisation de stockage de produits dangereux en couches géologiques profondes “ *ne peut être accordée (...) que pour une durée limitée et peut en conséquence prévoir les conditions de réversibilité du stockage. Les produits doivent être retirés à l'expiration de l'autorisation* ”. Cet article indique également que les conditions d'un éventuel stockage à durée illimitée seront définies par une loi ultérieure.

Le législateur renforce ses exigences en matière de réversibilité lorsque par la loi 92-646 du 13 juillet 1992 il modifie la rédaction de l'article 7 de la loi 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux comme suit : “ *l'étude d'impact d'une installation de stockage de déchets ... indique les conditions de remise en état du site et les techniques envisageables destinées à permettre une éventuelle reprise des déchets dans le cas où aucune autre technique ne peut être mise en œuvre* ”. Cette loi définit par ailleurs les déchets ultimes* et interdit, à partir de 2002, l'abandon par stockage des déchets qui ne seraient pas considérés comme ultimes.

Par ailleurs, le principe de précaution* posé par la déclaration de RIO, qui fonde la notion juridique de réversibilité et qui a été repris dans l'article 130 R du traité communautaire de Maastricht, fait son apparition en droit français avec la loi 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement. Celle-ci en précise les contours. Les mesures de précaution (et la reprise de déchets stockés peut en faire partie) doivent être “ *proportionnées* ”, avoir “ *un coût économiquement acceptable* ” et visent à prévenir des “ *dommages graves et irréversibles* ”.

I.3.4 - La jurisprudence de Droit Français

Le juge administratif semble donner la préférence à une application stricte de l'article 7 de la loi du 15 juillet 1975. Ainsi il a confirmé l'annulation en première instance d'un arrêté préfectoral d'autorisation d'une décharge pour cause d'insuffisance de l'étude d'impact qui ne comportait pas “ *d'indication sur les techniques envisageables destinées à permettre une éventuelle reprise des déchets* ” (arrêt SICTDMA* Cour adm. D'appel de Nantes 15/06/95).

I.3.5 - L'application pratique

Si la réversibilité ne s'impose pas comme une technique d'application systématique, il n'en est pas moins vrai que son principe doit être systématiquement étudié.

L'exploitant d'une installation de stockage de déchets doit étayer de manière suffisante la rubrique “ reprise de déchets ” de son étude d'impact, sous peine d'être sanctionné dans le cadre d'un recours contentieux par l'annulation de l'autorisation préfectorale d'exploitation.

* Terme défini dans le glossaire

Malgré l'absence de dispositions réglementaires spécifiques, on peut néanmoins, à partir de la lecture des travaux parlementaires de la loi 92-646 du 13 juillet 1992 et des conclusions du commissaire du gouvernement dans l'arrêt SICTDMA* précité, tracer les grandes lignes du contenu de l'analyse relative à la réversibilité qui doit figurer à l'étude d'impact :

- indications techniques sur la reprise des déchets,
- étude des moyens matériels et financiers nécessaires pour mettre en œuvre ces techniques et pour permettre l'évaluation de leur efficacité.

A défaut, il conviendra d'insérer dans l'étude d'impact un solide argumentaire expliquant “ *les raisons techniques qui justifieraient que cette présomption d'avenir n'a pas à être envisagée* ” (conclusions du Commissaire du Gouvernement - arrêt SICTDMA* précité).

I.3.6 - La convention commune sur la sûreté et la gestion du combustible usé et sur la gestion des déchets radioactifs

Cette convention a été adoptée par la conférence diplomatique à l'AIEA le 5 septembre 1997 et signée par 65 pays dont la France. Outre les principes généraux de gestion des déchets et des combustibles usés, elle définit les objectifs de sûreté pour le stockage et précise la terminologie de plusieurs termes que l'on trouvera dans le glossaire de l'annexe 4.

En conclusion, la loi du 30 décembre 1991, les aspects juridiques relatifs au stockage des déchets ainsi que les premières réflexions de la Commission sur la réversibilité constituent le cadre dans lequel la Commission a poursuivi ses réflexions ; celles-ci ont notamment porté sur les motivations et critères à satisfaire, sur l'application aux différents types de déchets, sur la durée de la réversibilité et sur les recherches à mener pour la “ démonstration ” globale de la faisabilité et de la sûreté du stockage réversible ou irréversible.

* Terme défini dans le glossaire

CHAPITRE II : LES MOTIVATIONS DE LA REVERSIBILITE

Jusqu'à la fin des années 80, l'ensemble de la communauté technique et scientifique étroitement associée aux divers opérateurs du nucléaire, considérait le stockage définitif des déchets de la fin du cycle nucléaire comme la solution optimale, tant du point de vue de la sûreté à court et long-terme que de celui de la faisabilité industrielle et économique. Elle s'accordait également pour considérer que l'ensemble des corps à vie longue contenus dans les déchets représentait à toute époque du futur un impact radiologique négligeable, et que des opérations de séparation poussée (au delà de celle du plutonium, éventuellement décidée pour des raisons énergétiques) et de transmutation de certains d'entre eux ne pouvaient qu'induire de nouveaux risques à court terme sans réel bénéfice pour le long-terme.

Cette vision technico-scientifique, fondée sur un ensemble impressionnant de connaissances dans des domaines aussi variés que les sciences de la matière, de la terre et du vivant, a cependant été remise en cause en France, par l'introduction dans la loi du 30 décembre 1991 de deux nouveaux concepts, celui de la transmutation d'une part et celui de la réversibilité d'autre part. Comme diverses études ont pu le montrer, cette loi visait à répondre aux préoccupations des opinions publiques en renvoyant en quelque sorte la question des déchets à une problématique de recherche. Ce faisant, l'énoncé seul de thèmes scientifiques qui indiquaient une palette de solutions possibles, allait contribuer à établir de nouveaux rapports entre " experts " et " profanes " dans le domaine particulier de la gestion des déchets de haute activité et à vie longue.

Il est devenu banal de constater qu'avec l'augmentation du risque technologique et de sa prise de conscience ainsi que de certaines pratiques des industries polluantes ou productrices de déchets, une méfiance s'est installée dans le public vis à vis des organismes en charge de ces questions, méfiance qui s'est étendue dans une certaine mesure à la technologie elle-même. Dans le domaine des déchets, divers dysfonctionnements graves observés au cours des dernières décennies (Montchanin*, Love Canal*), ont largement alimenté cette méfiance. Et dans le domaine plus spécifique du nucléaire, il y a l'exemple en France du Centre de Stockage en surface de la Manche (CSM*) dans lequel ont été stockés " définitivement " des colis de déchets dépassant, pour certains d'entre eux, de plusieurs ordres de grandeur la norme relative à la concentration maximum admissible en émetteurs alpha adoptée par la suite et pour lesquels on n'envisage aucune solution de reprise (rapport TURPIN* - CSM*).

Aussi la première motivation de la demande de réversibilité ne pouvait-elle être que de nature conflictuelle au sein de larges secteurs de l'opinion : manque de confiance dans un système clos qui a l'apparence de la haute technicité mais dont on craint qu'*in fine* les solutions adoptées sur le terrain puissent être " bâclées ".

D'une attitude de méfiance, on est passé ensuite à une attitude plus positive, de nature éthique, qui consiste à poser le problème des incertitudes, jugées irréductibles et des effets à long-terme du stockage sur les générations futures. Il s'agit alors de mettre en œuvre, au nom du principe de précaution*, une réversibilité indéfinie dans le temps qui devrait laisser aux générations futures la mémoire du site de stockage et donc la possibilité d'agir, sans y être pour autant contraint. Un tel cahier des charges est évidemment redoutable, voire impossible à satisfaire, puisqu'il exige, que soient assurés, sur des durées indéfinies à la fois la réversibilité, le maintien de la mémoire et l'absence de défaillances et d'impacts sur l'homme et l'environnement. Mais il présente l'intérêt d'alimenter la pratique démocratique du débat public, en rupture avec un

* Terme défini dans le glossaire

“ processus décisionnel linéaire* ” et fermé qui a perduré jusque dans les années 80, et par retour, d’améliorer le projet technique lui-même.

Face à ces exigences, les différents acteurs et experts responsables de la gestion des déchets ont d’abord développé un certain nombre d’arguments contre le concept d’un stockage réversible. Selon eux, la réversibilité ne peut être indéfinie, car elle supposerait une improbable pérennité organisationnelle susceptible de garantir effectivement un droit de regard des générations futures sur un stockage. Le risque d’un abandon progressif de la surveillance, par manque de moyens, de motivations, ne peut être exclu au fur et à mesure que le temps s’écoule, rendant par là même le maintien de la sûreté et de la sécurité de plus en plus problématique. Aussi, le concept de stockage considéré comme définitif, représentait-il, à leurs yeux, le meilleur moyen d’établir une barrière vis à vis de l’intrusion humaine et donc de garantir la meilleure sûreté. Sur ce dernier point, loin de maintenir la mémoire, on cherchait au contraire à faire en sorte que personne dans le futur n’ait connaissance du site de stockage et ne soit donc pas tenté d’y pénétrer, au nom de la protection des personnes vis à vis d’elles-mêmes et de la sécurité vis à vis, par exemple, de l’utilisation malveillante de matières fissiles (comme le plutonium), si celles-ci étaient enfouies.

Entre ces deux attitudes extrêmes, un ensemble de motivations communes semble aujourd’hui se dégager autour de la réversibilité qui apparaît au cœur de l’acceptabilité d’un projet de stockage. Du côté des opérateurs et des responsables politiques, le concept de stockage réversible est officiellement pris en compte en France avec la loi de 1991, mais aussi dans divers pays (certains comme les Etats-Unis, le Canada, les Pays-Bas l’inscrivent dans leur législation ou leur réglementation - voir l’annexe 3 – situation internationale).

A partir de ces considérations, il apparaîtrait souhaitable que l’on s’accorde à reconnaître que la durée pendant laquelle un stockage est réversible ne peut qu’être limitée dans le temps (pendant la période d’exploitation à laquelle peut s’ajouter une période plus ou moins longue avant la fermeture définitive du site) et qu’il existe des raisons techniques positives au maintien de la réversibilité, comme :

- vérifier, au prix d’une maintenance accrue, que le stockage ne présente aucune défaillance et, le cas échéant, prendre des mesures correctives d’une manière aisée,
- récupérer dans les déchets de haute activité des matières valorisables en profitant de la décroissance radioactive,
- profiter des progrès de la science pour extraire des corps à vie longue en vue de les éliminer par transmutation, évacuation spatiale ou tout autre procédé qui serait développé, ou pour les conditionner dans des matrices plus performantes .

La mise en œuvre active de la réversibilité apparaît alors, dans un tel contexte, comme un compromis nécessaire entre les contraintes techniques et les exigences éthiques exprimées par les opinions publiques. La prise en compte de ce concept permet essentiellement d’ouvrir les options susceptibles de réduire les incertitudes à long-terme -telle que la transmutation - et par voie de conséquence d’améliorer les projets de gestion des déchets de la fin du cycle du combustible.

* Terme défini dans le glossaire

Pour conclure, la mise en œuvre de la réversibilité conduit à la prise en charge par les générations futures d'un risque résiduel provenant d'une activité industrielle qui aurait cessé. Elle implique donc un processus décisionnel capable d'organiser une interaction permanente entre tous les acteurs qui seule permettra d'aboutir avec le plus de chance de succès à l'étape cruciale que représentera la décision de fermeture définitive d'un éventuel stockage.

CHAPITRE III : LES CRITERES A SATISFAIRE POUR LA REVERSIBILITE D'UN STOCKAGE GEOLOGIQUE

Les critères de sûreté des stockages de déchets nucléaires* sont fixés par la règle fondamentale de sûreté RFS III-2-f*. Celle-ci indique que la sûreté d'un stockage profond repose sur l'interposition de trois barrières entre le déchet et la biosphère : le colis éventuellement enveloppé d'un surconteneur, la barrière ouvragée constituée de l'ensemble des installations de soutènement et des matériaux de rebouchage adaptés à la fois au milieu géologique et à la nature des déchets, et enfin la barrière géologique constituée par l'ensemble des formations présentes dans le site.

La mise en œuvre de solutions réversibles à divers niveaux techniques et de temps nécessitera de faire jouer à chacune de ces barrières des rôles qui évolueront, et elle tendra notamment à prolonger l'importance dévolue au colis et aux ouvrages construits pour permettre leur manutention. Comme la Commission l'avait souligné dans son rapport n°3, en aucun cas, la sûreté à long terme d'un stockage réversible - telle qu'évaluée par les calculs de performance - ne peut être d'un niveau moindre que celle d'un stockage non réversible. Les critères de sûreté d'un stockage réversible devront donc être définis pour satisfaire à la fois ceux d'un entreposage profond de durée plus ou moins longue et ceux d'un stockage géologique dont la vocation est d'être fermé pour bénéficier aussi rapidement que possible des dispositions de sûreté passive qui sont mises en œuvre dans un tel stockage.

III.1 - La sûreté du stockage à tous les stades

L'ANDRA a défini cinq états* dans lesquels pourrait se trouver successivement un stockage géologique au cours de son histoire, allant de celui pendant lequel l'alvéole réceptacle des colis est maintenue ouverte, en phase d'exploitation, jusqu'à celui où la fermeture du stockage est définitive. Tant que les galeries ne sont pas remblayées, la réversibilité relève de manutentions assez simples, parce que tous les ouvrages d'accès sont maintenus ouverts. Le remblaiement, puis le scellement des galeries constituent des étapes-clés, qui ont pour conséquence de supprimer l'accès direct aux alvéoles, d'empêcher la maintenance des galeries et donc de modifier profondément les conditions de sûreté d'un stockage dans lequel la reprise des colis doit pouvoir être mise en œuvre ultérieurement si cela est souhaité par les générations futures.

Une première approche pourrait donc consister à retarder la décision du remblaiement des galeries par rapport à un programme de gestion de l'installation de stockage dans une optique irréversible. Celle-ci aurait conduit à remblayer les galeries dès qu'elles n'étaient plus nécessaires à la manutention, afin de mettre en œuvre les dispositions passives robustes destinées à isoler au plus tôt les déchets. L'extension dans le temps de la période pendant laquelle la réversibilité est techniquement facile pose plusieurs problèmes de sûreté qui devront faire notamment l'objet d'études dans les laboratoires souterrains. En effet, la sécurité et la sûreté en exploitation tout comme la sûreté à long terme du stockage ne doivent pas être dégradées par les mesures prises pour permettre ou faciliter la réversibilité. Plusieurs critères techniques explicités ci-après devront être satisfaits.

* Terme défini dans le glossaire

- La tenue mécanique des zones excavées devra être assurée. L'ouverture prolongée d'ouvrages souterrains pose le problème de l'adaptation des soutènements qui devront soit être renforcés dès la conception de l'installation pour augmenter leur durée de vie, soit surveillés en permanence et maintenus en bon état. Elle pose également le problème de la dégradation progressive du béton de la structure alvéolaire qui entraînerait des frottements et des blocages de telle sorte que les colis ne pourraient pas être retirés aisément. On devra aussi prendre en compte ces phénomènes et prévoir des techniques d'amélioration de la durabilité mécanique des matériaux. Dans le cas du stockage des déchets de haute activité, il faudra étudier dans quelle mesure une ventilation prolongée, indispensable pour évacuer une partie du flux thermique dégagé par les déchets et pour renouveler l'air respiré par le personnel, pourrait, dans une formation argileuse, conduire à une dessiccation importante de la roche et à sa fragilisation, ce qui nuirait à la sûreté à long terme du stockage géologique. Dans ce même cas, la ventilation, quelle que soit la roche hôte, prolongerait les conditions oxydantes avec les inconvénients qu'elle entraîne sur la tenue des colis.
- Le maintien dans le temps d'une possibilité de reprise des colis et de l'intégrité des installations nécessaires à leur manutention. Les dispositions à retenir pour les alvéoles de stockage et les barrières ouvragées ne devraient pas introduire des inconvénients pour le comportement à long terme des colis. La corrosion des espaceurs et des pièces de préhension des colis devra être ralentie. A terme toutefois, celle-ci empêchera la reprise des colis par les moyens employés pour les mettre en place et des modalités nouvelles d'extraction des colis devront être prévues. Des dispositions techniques de reprise des colis de déchets B* et C* devront donc être retenues dès la conception de ces colis et des structures qui les accueilleront pour permettre leur manutention selon diverses hypothèses de prolongement de la durée d'exploitation et de la réversibilité du stockage profond.
- La tenue mécanique et la durée de vie des colis de déchets devront être adaptées à la période de réversibilité facile qui serait choisie en 2006. Si l'intégrité des conteneurs et surconteneurs dévolus aux déchets C* semble d'emblée être satisfaisante en raison de leur durée de vie prévue pour mille ans, la conception des conteneurs de déchets B* devra assurer leur intégrité et une corrosion réduite pendant la période durant laquelle leur manutention fera appel à leur bonne tenue mécanique. Au delà de la faisabilité et du coût, il faudra étudier les inconvénients possibles d'un surdimensionnement des colis de déchets (par exemple volume des alvéoles, relâchement accru d'hydrogène, augmentation progressive de volume du colis par oxydation du fer des conteneurs ou encore émission de substances de nature à entraîner une dégradation des autres barrières).
- La gestion d'éventuelles venues d'eaux souterraines dans une installation dont l'accès est resté facile devra être prise en compte. Même si les travaux de reconnaissance que l'ANDRA a prévu de mettre en œuvre visent à minimiser le risque de rencontrer des fractures conductrices d'eau, il est difficile d'exclure *a priori* la traversée de telles fractures, selon le type de roche, étant donné l'emprise du stockage. En outre, la traversée éventuelle de nappes aquifères pour atteindre la formation d'accueil du stockage nécessite de rendre étanche le puits d'accès au niveau de stockage. Il sera donc nécessaire d'étudier

* Terme défini dans le glossaire

la conception et le maintien dans le temps des scellements des discontinuités rencontrées. Il faudra étudier comment assurer le maintien de leur efficacité tant que les propriétés de confinement hydraulique du milieu n'auront pas été complétées ou rétablies par un remplissage de l'ensemble des excavations.

Pendant la phase d'exploitation, et avant toute fermeture ou tout remblaiement, les moyens de surveillance et de vérification de l'intégrité des colis et des ouvrages devront être mis en place. Un examen périodique des différentes barrières devra être instauré. Les différents colis devraient faire l'objet de contrôles à l'aide de moyens de surveillance appropriés et donc envisagés dès la conception de l'installation de stockage réversible.

La surveillance du système de confinement des déchets devra se poursuivre non seulement après la fermeture des alvéoles, mais aussi après le remblaiement des galeries. Elle devrait faire appel à l'auscultation géophysique et à un minimum de prélèvements. Il faudra privilégier des mesures physiques et chimiques effectuées à l'aide de capteurs simples et robustes dont les données seraient transmises à un centre de surveillance. Ces analyses seront notamment destinées à mesurer l'extension et l'intensité des perturbations mécaniques et thermiques, les caractéristiques hydrogéologiques du milieu, l'évolution de la roche et du fluide interstitiel, ainsi que les changements de la température et de la composition de l'atmosphère des alvéoles sous l'effet du dégagement thermique, de la ventilation des galeries, puis de son arrêt, et de la corrosion des soutènements et des colis. Il faudra veiller à ce que l'installation du système de transmission de ces données ne constitue pas une source de points faibles pour les performances de confinement à long terme du système. Le contrôle de l'état des scellements des puits, des galeries et des fractures susceptibles de conduire des eaux souterraines devra faire l'objet d'une attention particulière en raison de l'impact majeur des venues d'eau sur le transfert des éléments vers la biosphère.

La gestion d'un comportement anormal des colis ou de l'installation de stockage réversible devra faire l'objet d'études de scénarii très divers, afin de prévoir les dispositions qui devraient alors être prises et d'étudier leur impact sur le personnel et l'environnement.

Le maintien de la mémoire du site et de son contenu est un élément essentiel de la réversibilité. Les archives devront donc comporter les plans détaillés du stockage, l'historique des opérations et de l'exploitation, les caractéristiques des ouvrages, l'inventaire détaillé des colis et de leur composition chimique et radiologique, la description technique des systèmes de surveillance, les modèles de comportement et les connaissances qui les sous-tendent, les études et calculs de sûreté et les données acquises pendant la surveillance du stockage. L'ANDRA* a prévu d'étudier les moyens d'assurer la pérennité de ces informations dans le cadre d'un programme de recherche qui devra aboutir d'ici 2005. L'hypothèse de l'abandon du stockage ouvert ou seulement partiellement fermé ne pourra pas être ignorée et devra faire l'objet de scénarii de sûreté dont il faudra évaluer les conséquences.

Dans l'hypothèse où un déstockage total ou partiel serait décidé par les générations futures, des scénarii devront être élaborés, tenant compte des différents états possibles de l'installation de stockage géologique.

* Terme défini dans le glossaire

Avant fermeture complète, le site peut être considéré comme une mine d'éléments et de matériaux divers dont certains sont radioactifs. Le déstockage, qui dépend fortement de l'intégrité des colis, peut alors être assimilé à une exploitation minière pour laquelle la sécurité du personnel doit être assurée, notamment sur le plan des risques radiologiques et miniers. Des méthodes différentes devront vraisemblablement être appliquées aux colis de déchets B* et C* qui seront dans des états différents et devront bénéficier d'une gestion spécifique tenant compte de leur radioactivité et de leur composition chimique. Les opérations de récupération pourraient en conséquence avoir à surmonter de nombreuses difficultés (jeux insuffisants pour dégager les colis de la barrière ouvragée, colis de déchets endommagés difficilement manutentionnables, contamination radioactive, gaz combustibles et radioactifs, volume important de déchets contaminés). La protection de l'environnement devra aussi être assurée et l'entreposage des matières extraites devra être prévu dans des conditions de sécurité permettant d'éviter toute dispersion des radionucléides vers la biosphère.

Après fermeture, le stockage géologique devient l'analogue d'un gisement dont l'ouverture s'apparenterait au travail minier d'exploration, de reconnaissance et d'exploitation d'un gisement d'uranium ou de thorium d'une certaine richesse, avec pour complication la présence de composés chimiques toxiques ou réactifs (déchet magnésien) généralement absents dans les formations naturelles. Les moyens à mettre en œuvre devraient alors faire appel aux techniques minières et aux procédés de percement téléguidés sans contact direct de l'opérateur analogues à ceux qui ont déjà été mis au point par la COGEMA et homologués par le Gouvernement Canadien pour le gisement d'uranium de Cigar Lake*.

III.2 - La protection de l'homme et de son environnement

La conception d'un stockage, réversible ou non, doit garantir la dose minimale reçue par l'homme au cours de l'ensemble des étapes de la gestion des déchets. Toute manipulation, reprise, observation directe, transformation répétée dans le temps signifie des doses supplémentaires reçues par des opérateurs. Une optimisation des contraintes imposées par la réversibilité doit donc être recherchée et la surveillance devra faire appel autant que faire se peut à des capteurs et des moyens télécommandés pour éviter que les opérateurs aient à venir au voisinage des colis de déchets.

Tant que la galerie de manutention n'est pas remblayée (états* 1 et 2 du stockage dans la terminologie de l'ANDRA), la réversibilité est techniquement facile. Cependant, l'installation devra être conçue pour maintenir pendant toute cette phase l'intégrité des barrières en regard des différents risques associés à l'installation, à son environnement et au personnel. Les critères seront analogues à ceux d'une installation nucléaire de base, notamment en matière de radioprotection. Il conviendra donc d'analyser les risques d'accidents et les dispositions à prévoir pour maîtriser ces risques (venues d'eau, chutes de charges, dégagement de gaz radioactifs ou chimiquement dangereux, incendies). La sécurité des personnels durant cette

* Terme défini dans le glossaire

* Terme défini dans le glossaire

phase et durant un éventuel désentreposage des déchets devra être analysée vis-à-vis des risques radiologiques et miniers, en tirant profit de l'expérience acquise dans l'exploitation des installations d'entreposage en surface et des mines d'uranium.

La reprise de déchets dans un site partiellement ou totalement remblayé pourrait faire appel à des techniques d'extraction minière dont certaines sont déjà d'utilisation courante. L'ANDRA envisage plusieurs méthodes (surforages, dilution de l'argile de barrière ouvragée par jet d'eau sous pression, refroidissement de la barrière ouvragée et du conteneur pour les séparer par un vide). Des blindages de protection radiologique pendant l'extraction des colis devront être prévus si la contamination en émetteurs bêta et gamma est significative ou si les colis ont perdu leur intégrité. Il faudra alors définir le besoin en décontamination et conditionnement éventuel des déchets ainsi récupérés et les conditions de leur entreposage pour éviter toute dispersion dans la biosphère.

III.3 - Le coût et la compétitivité industrielle

La reprise des déchets à une époque future n'est envisageable que si la société en tire un bénéfice. Ce bénéfice peut être industriel dans le cas où les produits considérés aujourd'hui comme déchets auraient acquis une valeur significative. L'opération de récupération devra alors faire l'objet d'une analyse coût-bénéfice sur le plan industriel. Un autre type de bénéfice sociétal serait lié à la sûreté à long terme du stockage : les responsables du stockage pourraient être amenés à donner aux déchets un nouveau conditionnement apparaissant plus satisfaisant en profitant du progrès scientifique. Ils pourraient également agir pour disposer de moyens d'action sur des anomalies qui seraient apparues, avec le temps, sur le comportement du stockage. Là encore, les décideurs de l'époque seront amenés à effectuer une analyse coût-bénéfice qui prendra en compte les divers aspects, sociétaux, financiers, de radioprotection, de radiotoxicité et de sûreté.

Quel que soit l'état du stockage, la récupération des déchets reste techniquement possible, même lorsque les puits d'accès et de ventilation seront fermés. Cependant, si la réversibilité peut être garantie par les moyens industriels actuels tant que la mémoire du site n'est pas perdue, il faut être conscient qu'elle devient de plus en plus difficile et coûteuse au fur et à mesure que le temps s'écoule et que le remblayage de l'installation est mis en œuvre. En outre, la stratégie actuelle de conditionnement des déchets visant à les mettre sous une forme particulièrement résistante aux agressions implique que les procédés industriels à mettre en œuvre pour les traitements physico-chimiques de valorisation seraient très complexes. Les coûts d'exploitation d'une telle ressource devraient alors être comparés à ceux d'autres solutions de fabrication des radionucléides artificiels.

Le coût d'une reprise des déchets dépend aussi du degré de fermeture du stockage et de la durée pendant laquelle on veut le maintenir dans un état donné (par exemple avec ou sans remblai des galeries). Il sera donc indispensable de profiter de l'expérience des laboratoires souterrains pour définir la durée pendant laquelle on veut assurer la possibilité de reprise des déchets avec un niveau d'investissement technologique et de moyens à mettre en œuvre donnés. Ceux-ci dépendront également des surcoûts d'entretien et des mesures qui seront prises pour anticiper une éventuelle reprise et faciliter sa mise en œuvre. Il sera donc indispensable d'élaborer une stratégie définissant les degrés de réversibilité choisis pour différentes étapes

dans le futur et de définir des points de rendez-vous précis qui constitueront autant d'étapes clés dans la prise de décision sur le devenir du stockage souterrain au cours du ou des prochains siècles.

III.4 - La protection contre la malveillance et la prolifération

La réversibilité qui tend à faciliter la reprise des colis déposés dans un centre de stockage géologique entraîne le risque de faciliter la récupération en particulier des éléments chimiques, radioactifs ou non, des matières fissiles nécessaires pour les candidats à la prolifération. Les mesures strictes de protection contre la malveillance et l'intrusion humaine volontaire qui seront prises pendant la période d'exploitation de l'installation de stockage devront être maintenues pendant toute la période où la réversibilité nécessitera la mise en œuvre de moyens techniques simples et où les barrières de protection passives n'auront pas encore été entièrement mises en place.

III.5 - La satisfaction de ces critères : plusieurs solutions et des coûts différents

L'analyse ci-dessus montre qu'il est en principe envisageable, pour tout stockage terrestre réalisé à quelques centaines de mètres de profondeur, de récupérer les déchets, éventuellement au prix d'opérations lourdes, tant que la mémoire de l'existence du dépôt est conservée. C'est donc au niveau des dispositions de conception visant à permettre une récupération plus ou moins aisée des déchets, et ceci pendant une durée qui devra être définie, qu'il convient de différencier le caractère plus ou moins réversible des concepts de stockage géologique profond.

La palette des solutions possibles s'étend donc depuis le stockage géologique dans lequel les différentes barrières ouvragées sont dressées aussi rapidement que possible (appelé de manière inexacte irréversible, mais dans lequel la reprise des colis sera très lourde) jusqu'à un type d'ouvrage qualifié "d'entreposage profond convertible en stockage". Il s'agit alors d'un ouvrage d'isolement sûr des déchets, laissant des choix ouverts, dont l'un d'eux est une fermeture volontaire de l'installation. Ces diverses possibilités ont un coût et il est impossible de laisser les choix ouverts indéfiniment. Il y a donc nécessité d'élaborer un processus décisionnel pour définir des options et conserver la maîtrise des choix au cours du temps.

Chaque option, qui pourrait être considérée comme définissant un niveau de réversibilité, devra être caractérisée par la durée pendant laquelle on souhaite que la reprise des colis de déchets soit possible en utilisant des moyens techniques d'un type industriel défini et d'un coût acceptable, tout en sachant qu'après fermeture du stockage, la récupération des déchets restera techniquement possible, mais nécessitera de faire appel à des moyens pouvant devenir lourds et chers. Les principaux facteurs à prendre en compte avant de décider de la fermeture totale ou partielle d'un stockage devraient dépendre non seulement de l'évolution des coûts, mais aussi de celle des sociétés et des progrès techniques escomptables à court ou moyen terme. On peut ainsi envisager un ensemble de critères et leurs interactions qui s'amplifient avec le temps, notamment :

- les risques vis-à-vis de la malveillance ou de la prolifération,

- les risques, en cas de sociétés devenant instables, de l'oubli d'un stockage qui n'aurait pas été fermé complètement,
- la durée d'intégrité des colis,
- la durée d'intégrité des ouvrages (alvéoles et galeries),
- les conditions de maintenance (éventuelle) des galeries et la facilité d'accès aux colis,
- la perturbation du milieu géologique qui sera d'autant plus grande que les galeries resteront ouvertes et seront ventilées plus longtemps,
- la qualité de la surveillance des colis, des ouvrages et du milieu géologique qui pourra être assurée et de son évolution en fonction du progrès scientifique,
- le coût et la sûreté, pour le personnel et l'environnement, de la mise en œuvre des techniques minières nécessaires à la reprise des colis en cas de détérioration des alvéoles, des galeries ou des colis eux-mêmes.

La gestion d'un stockage réversible aura donc pour objectif de préserver la libre décision des générations futures à disposer des déchets selon leur propre choix et de conserver des options de gestion ouvertes pendant le temps le plus long possible, compatible avec la sûreté de l'homme et de l'environnement. Cette approche nécessitera de concevoir des points de rendez-vous dans le temps pour décider de la solution qui sera retenue pour l'avenir à chaque moment critique de la gestion du stockage, et de la réalisation, le cas échéant, d'actions correctives permettant de retrouver des situations compatibles avec la solution retenue.

CHAPITRE IV : LE CONCEPT DE REVERSIBILITE, POUR QUELS DECHETS ET POUR QUELLES DUREES ?

Contrairement à ce qui sera traité au chapitre V sur la réversibilité dite de localisation, il s'agit ici de discuter pour quels déchets le concept de réversibilité est vraiment pertinent et en quoi elle est plus ou moins facilitée par leur forme physico-chimique. Le concept de réversibilité, les catégories de produits auxquels elle pourrait s'appliquer et la durée de sa mise en œuvre doivent être examinés au regard des objectifs que l'on veut atteindre et en référence à une analyse de type coût-bénéfice.

Les diverses opérations du cycle du combustible, depuis l'extraction de l'uranium jusqu'à la gestion des combustibles irradiés, génèrent des déchets* et des matières nucléaires* qui peuvent subir, le cas échéant, des traitements plus ou moins aisés au plan technique et économique, traitements motivés par la recherche d'un conditionnement facilitant un certain degré de réversibilité ou la production de déchets ultimes*.

Aux chapitres II et III, trois motivations de “ *nature technique* ” ont été ainsi mentionnées et discutées :

- objectif 1 - apporter des mesures correctives à des choix techniques qui auraient induit ou pourraient induire des risques jugés inacceptables,
- objectif 2 - récupérer des produits valorisables à une époque donnée, en fonction de critères essentiellement économiques,
- objectif 3 - diminuer la nocivité résiduelle pour améliorer la sûreté en extrayant des produits présentant un risque potentiel ou résiduel et qui pourraient être soit incinérés (axe 1), soit être mieux isolés de l'environnement (axe 3, évacuation spatiale ?).

On peut ainsi, par rapport à ces motivations, caractériser les produits radioactifs générés par l'ensemble des opérations du cycle électronucléaire ainsi que par les travaux de recherche et les applications industrielles et médicales.

* terme défini dans le glossaire

IV.1. Les produits en amont du réacteur

Le cycle du combustible associé à la filière à uranium enrichi engendre aujourd'hui en amont du réacteur, trois catégories de produits :

- les résidus de l'extraction de l'uranium naturel et de ses traitements chimiques,
- l'uranium de rejet des usines d'enrichissement ou uranium appauvri*,
- les déchets résultant de la fabrication du combustible MOX* .

Les résidus de l'extraction de l'uranium sont aujourd'hui considérés comme des déchets ultimes*, sans valeur économique (il n'y a plus d'industrie du radium). Ils sont caractérisés par des volumes très importants (en France environ 50 millions de m³ de résidus et stériles), une radioactivité due aux descendants de l'uranium, très faible mais qui perdure sur des dizaines de milliers d'années en raison des durées de vie des radionucléides Th-230 et Ra-226, de la famille radioactive naturelle de U-238. Ces résidus sont actuellement disponibles dans l'environnement immédiat des sites d'extraction et de concentration du minerai d'uranium et présentent donc un degré de réversibilité maximum. Mais celle-ci est pratiquement sans objet, puisqu'ils ne répondent pas aux préoccupations énoncées dans les objectifs 2 et 3 ci-dessus. Cependant leur gestion peut en principe être améliorée (objectif 1).

Dans l'étape suivante, l'enrichissement produit d'importantes quantités d'uranium appauvri* (environ à 0,2 % en U-235), 5 à 6 fois celles des combustibles usés, et génère un risque à long terme lorsque les descendants de l'uranium dont le radon se seront pleinement reconstitués. L'uranium appauvri* peut être considéré dans le court terme comme un stock stratégique en attente de conditions économiques favorables pour un déploiement futur (au-delà de 2050 ?) des surgénérateurs (utilisation de U-238) ou de techniques de séparation isotopique par laser* (utilisation de U-235 résiduel). Leur entreposage en surface doit donc être conçu d'une manière réversible sur au moins un siècle pour permettre une reprise éventuelle (objectif 2). Au-delà, on pourrait être amené à gérer cet uranium appauvri* comme un déchet de radioactivité équivalente à celle des résidus miniers, mais beaucoup moins diluée, ce qui permet d'envisager une solution d'enfouissement définitif.

Les déchets résultant de la fabrication du MOX* peuvent être classés en deux catégories, A* et B*. Ces derniers concernent ceux qui sont contaminés par du plutonium à des niveaux tels qu'ils ne peuvent être stockés en surface et subissent donc le même sort que les déchets B* du retraitement.

IV.2. Les produits en aval du réacteur

C'est en fait dans l'aval du cycle électronucléaire que le concept de réversibilité trouve son application la plus étendue. Le combustible usé, déchargé du réacteur, constitue le produit primaire à partir duquel est engendré un ensemble de produits que l'on peut classer en deux grandes catégories :

* terme défini dans le glossaire

- des matières nucléaires* qui ont un contenu énergétique en principe valorisable ; il s'agit du combustible usé (UOX* et MOX*) lui-même, du plutonium et de l'uranium de retraitement (URT*), séparés chimiquement dans les usines de retraitement,
- des déchets provenant des diverses opérations de retraitement auxquels il convient d'ajouter ceux de l'étape de fabrication du MOX* mentionnés ci-dessus.

Notons que cette distinction en deux classes de produits est fondée sur des propriétés physiques objectives, c'est à dire sur la présence de matières fissiles en quantité appréciable et non sur une utilisation effective qui dépend de contingences technico-industrielles, par exemple du choix de filière et de la possibilité de réenrichissement de l'URT*, économiques ou politiques, contingences qui expliquent que les politiques de l'aval du cycle puissent varier d'un pays à l'autre. Cette distinction est en tout cas pertinente dans le cas de la France en raison de l'importance du nucléaire et d'une politique très active dans l'aval du cycle, où les combustibles usés ainsi que les matières contenant la quasi-totalité du plutonium et de l'uranium extraits des combustibles usés ne soit pas considérées comme des déchets ultimes*.

Nous examinerons ci-après les modes de gestion de ces produits sous l'angle de la réversibilité (objectifs 1, 2 et 3) et de sa mise en œuvre pratique, en se référant plus précisément au cas de la France.

IV.2.1. Les matières nucléaires

L'option industrielle de fin du cycle électronucléaire adoptée actuellement par EDF consiste à ne retraiter que la partie des combustibles UOX* dont le plutonium est immédiatement utilisable dans les REP*, à ne le recycler qu'une fois et à ne pas procéder à un recyclage significatif de l'URT* sous forme de combustibles URE*. Dans ces conditions, l'entreposage de longue durée ne s'applique qu'aux combustibles usés UOX* et MOX* non retraités et à l'URT*. S'agissant de ces combustibles usés dont le statut et le destin final ne sont pas identiques, cet entreposage d'attente est par définition réversible, puisqu'il réserve toujours la possibilité d'un retraitement. Il n'y a pas de contraintes techniques particulières limitant la durée qui peut aller jusqu'à plusieurs décennies, comme le montrent les expériences américaine et française d'entreposage en piscine. On est donc ici dans un domaine où la réversibilité est nécessaire pour une période de temps limitée, éventuellement reconductible, en fonction de l'intérêt de reprendre les matières à valoriser (objectif 2).

IV.2.2. Les déchets

Les déchets de l'aval du cycle pour lesquels se pose la question de la réversibilité sont ceux du retraitement, tel qu'il est pratiqué à l'usine de La Hague et qui sont classés dans les catégories B* et C*.

S'agissant des déchets B*, ils sont actuellement conditionnés soit dans des liants hydrauliques soit, dans des bitumes (ces derniers recevant les boues résultant du traitement des effluents liquides). Pour ces derniers, la décision d'arrêt définitif en 2000 a été prise en 1995. Ils sont caractérisés par des volumes relativement importants (environ 135 000 m³ pour le

* terme défini dans le glossaire

* Terme défini dans le glossaire

dimensionnement du stockage^{**}) et une absence de matières économiquement valorisables (le plutonium résiduel, correspondant à des pertes de l'ordre de 1/1000, est en très faible concentration). Ceci étant, la teneur en émetteurs alpha est suffisamment élevée pour qu'on estime ne pas pouvoir les admettre dans le stockage de surface de l'Aube (CSA*). L'application éventuelle de la réversibilité à ces déchets peut être abordée sous deux aspects :

- le premier concerne les colis de déchets B* déjà produits, et dont on estimerait qu'une reprise puisse s'imposer au regard du seul objectif 1 (par exemple pour diminuer le relâchement de certains corps radioactifs à vie longue comme I-129). Dans ce cas, il faudrait se réserver la possibilité d'un surconteneurage ou d'un nouveau traitement (par exemple incinérer les bitumes, refaire des céramiques ou des vitrocéramiques ...). La Commission, considérant cette application de la réversibilité difficilement envisageable au plan pratique (volume) et au plan radiologique, pense que le stockage définitif de ces déchets B* est incontournable, qu'il ne nécessite aucun entreposage préalable de refroidissement, mais que l'on doit s'attacher à déterminer le meilleur concept et la meilleure roche hôte ainsi que leur conformité aux spécifications pour assurer la sûreté à long-terme de leur stockage définitif. A cet égard, certains colis de déchets pourraient bénéficier d'un revêtement susceptible de prolonger leur durée de vie,
- le deuxième concerne le conditionnement futur de déchets B*, anciens ou à venir, pour lequel on peut étudier une stratégie d'entreposage limitée dans le temps et dans des conditions de reprise aisée et contrôlée (différente donc de la pratique concernant l'entreposage en vrac des déchets anciens) associée à une mise en œuvre "énergique" de techniques de conditionnement plus élaborées (sous réserve d'une analyse approfondie) telles que la céramisation ou le compactage voire la fusion des déchets métalliques. Il s'agit ici de mettre en œuvre des techniques de conditionnement de qualité rendant sans objet le besoin de réversibilité.

Dans ces deux cas, cette analyse conduit la Commission à considérer les déchets B* comme des déchets ultimes* au sens de la loi du 13 juillet 1992.

Les motivations pour la réversibilité sont en revanche plus importantes pour les déchets C*, parce qu'ils contiennent des métaux de la mine du platine* et d'autres éléments dont la récupération pourrait présenter un intérêt économique et médical (objectif 2), ainsi que les actinides mineurs et certains produits de fission à vie longue, susceptibles d'être incinérés ou conditionnés spécifiquement (objectif 3). Le concept de réversibilité pourrait s'appliquer selon les deux schémas ci-dessous :

- les déchets C* sont actuellement produits sous forme de verres et ils sont considérés par les producteurs comme des déchets ultimes*. Leur reprise éventuelle est en principe envisageable au prix d'un effort technique important, et la Commission demande qu'elle soit étudiée et chiffrée. Elle ne porterait que sur des volumes beaucoup plus réduits que ceux des déchets B*, environ 5 000 m³ en 2020*. L'entreposage de ces déchets, par définition réversible, pour les périodes allant de 50 ans à 100 ans est en tout état de cause imposé pour des raisons techniques et économiques liés à leur dégagement thermique,

* audition du 08/01/1998

* terme défini dans le glossaire

* Inventaire transmis par l'ANDRA le 14 mai 1998.

- pour les déchets C* futurs, le degré d'irréversibilité ou de difficulté de reprise pourrait être largement réduit en entreposant non pas des verres mais des calcinats* de haute activité ou, mieux, de composés solides de reprise aisée, juste avant leur vitrification. La Commission demande que cette solution soit évaluée au plan technique et au plan du maintien de la sûreté à court et moyen terme. Si elle était viable, elle permettrait de concilier le souhait de maintenir les déchets C* sous une forme facile à reprendre avec celui de maintenir un entreposage sûr pendant plusieurs décennies. Ceci ne serait pas le cas pour un entreposage sous forme de solutions liquides de haute activité.

IV. 3. Autres déchets

Les travaux de recherche et certaines applications industrielles et médicales conduisent également à la production de déchets relevant de la loi de 1991. Ce sont principalement :

- les combustibles des réacteurs de recherche et de la propulsion navale,
- les déchets de haute activité résultant des examens des combustibles et des mises au point de procédés (retraitement, vitrification ...),
- les déchets technologiques et de fonctionnement des réacteurs et des laboratoires ainsi que ceux issus du traitement des effluents des centres de recherche,
- les sources diverses.

Les combustibles usés, renfermant des matières valorisables, peuvent pour certains être retraités ; pour d'autres, les critères techniques et économiques (objectif 2) guideront leur gestion. La plupart sont entreposés pour une cinquantaine d'années dans l'installation CASCAD*.

Les déchets résultant des examens des combustibles ou des mises au point de procédés sont soit conditionnés (verres de l'APM* par exemple), soit entreposés en conteneurs. Pour ces derniers, les motivations pour la réversibilité relèvent principalement de l'objectif 3.

Les déchets technologiques et de fonctionnement des réacteurs et des laboratoires ainsi que ceux issus du traitement des effluents, conditionnés ou non, sont des déchets B* et sont analogues aux déchets de la même catégorie issus du retraitement (voir IV.2.2).

Quant aux sources (radium, américium, césium ...) dont l'entreposage doit probablement être amélioré, elles seront, après un conditionnement adéquat (objectif 3, axe 3), assimilables aux déchets B* et donc considérés comme des déchets ultimes*.

* terme défini dans le glossaire

IV.4. La durée de la réversibilité

Les durées des opérations décrites ci-dessus et qui visent à faciliter la reprise avant stockage, sont de l'ordre du siècle au plus et peuvent en tout cas être reproductibles puisqu'il s'agit d'entrepôts de surface ou de subsurface sous contrôle institutionnel.

La situation n'est pas en principe différente s'agissant de la durée de la réversibilité en stockage profond. Cette réversibilité doit être organisée de manière à assurer un contrôle de la société, ce qui sous-entend que les autorisations d'entreposage et de stockage ne peuvent a priori être que limitées dans le temps (par exemple 50 ans pour les verres), mais éventuellement renouvelables. Des rendez-vous réguliers doivent donc être prévus pour décider si l'on ferme le stockage ou si l'on prolonge la période de surveillance. De telles mesures ne pourront être prises qu'au sein d'un processus décisionnel largement ouvert comme évoqué au chapitre II. Rien ne serait plus irresponsable que de s'installer dans une situation de réversibilité indéfinie avec une perte progressive du contrôle de la situation par la Société.

CHAPITRE V : QUELLES RECHERCHES A EXECUTER POUR ASSURER D'ICI 2006 LA FAISABILITE DE LA REVERSIBILITE D'UN AVANT-PROJET DE STOCKAGE ?

Dans les chapitres précédents, les questions liées aux motivations et aux critères pouvant déboucher sur un concept de stockage géologique réversible (entreposage géologique convertible en stockage) ainsi que les types de déchets concernés et la durée de la phase de réversibilité ont été examinés ; il s'agit maintenant d'analyser comment pourra être mise en œuvre la réversibilité et quelles sont les recherches à poursuivre d'ici 2006 pour qu'un avant-projet de stockage réponde à la demande du législateur consignée dans l'article 4 de la loi : " l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains ".

La documentation mise à la disposition de la Commission montre une convergence de vue sur ce que pourrait être un stockage réversible et l'ANDRA a proposé plusieurs possibilités techniques sur les thèmes " comment concevoir un stockage réversible à plusieurs niveaux et comment reprendre les déchets en fonction du niveau de réversibilité " ; il apparaît que la facilité de reprise diminue proportionnellement à la mise en place des barrières artificielles. Le CEA s'est placé volontairement au niveau de la réversibilité du conditionnement et des colis. L'IPSN, quant à lui, s'est penché plus spécialement sur les questions relatives à la sûreté d'un stockage réversible (tenue mécanique des zones excavées, question éventuelle de venues d'eaux souterraines, tenue mécanique et durée de vie des colis de déchets, maintien des possibilités de reprise, dispositif de surveillance, gestion en cas de comportement anormal ...). Toutes ces questions seront à examiner lorsque l'ANDRA aura défini des concepts de stockage. Les industriels (COGEMA et EDF) ont examiné des points de vue plus pragmatiques : la réversibilité à quel horizon ? quand et sur quels critères ? le coût et le financement, les systèmes de reprise par les techniques minières (du type Cigar Lake* , par exemple).

De ce qui précède, il apparaît d'une part, qu'un stockage réversible est, durant une période déterminée, techniquement possible et, d'autre part, que la réalisation d'un laboratoire souterrain est indispensable à la validation du concept et aux expérimentations déjà prévues pour la mise en place des colis et leur reprise.

L'examen fait par la Commission et les réflexions internes conduisent à déterminer six domaines de recherche et quatre domaines d'études importants destinés à éclairer en 2006 les décisions relatives à des avant-projets du stockage.

V.1 - Principaux domaines de recherche

Les six domaines principaux à explorer concernent :

- l'inventaire des déchets,
- la tenue des colis : conteneurs et surconteneurs
- l'ingénierie et le concept du stockage,
- le comportement du milieu et son évolution,
- la sûreté à tous les stades,
- la démonstration de la réversibilité.

* Terme défini dans le glossaire

** Inventaire transmis le 14 mai 1998

V.1.1 - L'inventaire des déchets

C'est le point de départ de la réflexion et des recherches. Dès son premier rapport, la Commission avait souhaité qu'un inventaire le plus complet possible soit réalisé au plus tôt et mis à jour régulièrement en prenant en compte les aspects radiochimiques, chimiques, thermiques et mécaniques qui semblent indispensables pour affiner d'ici 2006 les concepts de stockage réversible ou non. Ces renseignements sont en cours d'acquisition selon un processus qui a été exposé à la Commission en particulier au cours de l'audition du 6 novembre 1997. Des exposés présentés, on peut retenir que le groupe de travail ANDRA - producteurs devrait fournir pour la fin de l'année 1998, un inventaire initial consolidé sur la base des dossiers de connaissances des déchets, dont seule l'ébauche existe aujourd'hui.

Dans son programme prévisionnel, l'ANDRA a prévu de faire évoluer parallèlement les concepts de stockage et les modèles d'inventaires pour arriver à un dossier cohérent de stockage en 2005. Les spécifications de stockage des familles de colis annoncées préalablement pour 1997 sont reportées à 1999, date de la première étape de convergence du programme ANDRA. Pour l'instant, on en est au modèle d'inventaire initial élaboré en 1996, complété en 1998* et qui a servi à définir les options préliminaires de conception. Il convient donc, d'une part d'accélérer l'établissement de l'inventaire concernant les données radioactives, chimiques et thermiques ainsi que les caractéristiques des colis et, d'autre part, de vérifier si le processus proposé par l'ANDRA, notamment les échéances, prennent bien en compte les nécessités d'un stockage réversible ainsi que l'établissement des argumentaires pour classer les déchets en fonction des besoins de la réversibilité. Une attention particulière et urgente devra être portée à ces questions.

V.1.2 - La tenue des colis : conteneurs et surconteneurs

Dans la conception d'un stockage réversible, il est nécessaire de définir les caractéristiques dimensionnelles et les matériaux des colis et éventuellement des surconteneurs ainsi qu'une estimation de leur durée de vie dans les conditions de milieu retenues dans le concept. Les volumes et les gabarits des colis conditionnent directement l'architecture du stockage (accès, galeries) et plus particulièrement les dimensions des alvéoles et des outils de manutention. Les propriétés des matériaux des conteneurs des colis et des surconteneurs déterminent, en fonction des conditions du milieu d'entreposage d'attente ou de stockage réversible, la nature des corrosions et la durée de l'intégrité.

Dans ces différents domaines, les premiers programmes de recherche élaborés par les acteurs de la loi ont été récemment présentés à la Commission. Toutefois, les différents niveaux de réversibilité prévus imposent de développer des recherches sur les composants et leur aptitude à la tenue en conditions oxydantes. En effet, ce qui différencie un stockage réversible d'un stockage non réversible où les barrières artificielles seraient immédiatement mises en place est l'existence d'une période d'entreposage en milieu oxydant vis-à-vis des matériaux métalliques ou autres. En entreposage, les colis sont au contact de l'oxygène et de l'humidité ; en situation de stockage réversible, ils sont entourés de barrières assurant leur isolement pour un temps long. Ce n'est que lorsque le stockage est fermé que les colis se trouvent assez rapidement dans un milieu sans oxygène. Un programme soutenu et harmonisé sur ce point entre les axes de recherches 2 et 3 semble indispensable si l'on veut progresser dans la définition d'un concept de stockage réversible. Il devrait concerner surtout la reprise, puis le conditionnement des différents déchets anciens destinés au stockage profond, l'adaptation et la compatibilité, en tant que de

besoin, des revêtements et des surconteneurs pour les déchets existants. Un point particulier de la recherche concerne l'étanchéité de certains conteneurs renfermant des déchets produisant des gaz de radiolyse ; dans ces colis, des effets particuliers pourraient se produire comme des condensations d'eau ou de vapeur d'eau, des altérations de matrice, des corrosions internes ou des dépassivations de certains aciers.

V.1.3 - L'ingénierie et les concepts du stockage

Dans ce domaine, la réversibilité impose d'examiner en détail plusieurs composantes :

- les accès,
- les galeries,
- les modules de stockage,
- les alvéoles de stockage,
- les barrières ouvragées,
- l'ensemble des moyens de manutention et leur maintenance,
- la mise en place et la reprise des colis.

L'accès d'un stockage réversible constitue une partie importante de l'ouvrage ; le déstockage sera d'autant plus aisé que les accès seront directs et les colis de taille raisonnable. Le soutènement des galeries, dans la mesure où le milieu étudié le nécessite, devra être assuré sur toute la période d'exploitation, puis jusqu'à la décision éventuelle de fermeture du stockage dont il faut prévoir qu'elle puisse être plus ou moins longue. En raison des besoins et des critères de réversibilité spécifiques aux diverses catégories de déchets, la prévision de modules de stockage dédiés à chaque catégorie de déchets deviendra certainement nécessaire. Les alvéoles de stockage, outre la dimension et un choix très étayé techniquement sur leur orientation (horizontale, inclinée ou verticale), devront être raisonnablement équipées : tube guide, capteurs ... afin d'assurer l'intégrité physique des colis, la reprise des colis et la surveillance.

La réversibilité nécessite, par ailleurs, de reconsidérer les barrières ouvragées soit pour s'assurer que leurs fonctions (rétention des radionucléides, environnement géochimique, protection contre les venues d'eau ...) ne seront pas altérées durant leur évolution en milieu désaturé, soit pour s'assurer de leur déconstruction. En effet, dans ces conditions les argiles n'ayant pas gonflé ne stabiliseraient pas les colis et ne rempliraient pas les vides. La reprise de colis nécessite un certain jeu fonctionnel entre les colis et les barrières ouvragées. L'acquisition des données expérimentales dans les laboratoires souterrains est donc primordiale dans ces domaines.

Concernant les moyens de manutention, la réversibilité impose, lors de la reprise, de pouvoir remettre le colis dans son château de transport pour une évacuation vers un entreposage. En raison de la fragilité éventuelle des enveloppes du colis, de nouveaux besoins de préhension et de protection, des essais de démonstration de manutention seront nécessaires. Enfin, un soin particulier à la mise en place des colis devra être assuré selon des consignes très strictes pour n'entraver en aucun cas la possibilité de reprise sélective et permettre un repérage aisé de chaque colis.

V.1.4 - Le comportement du milieu et son évolution

Le milieu géologique et son évolution durant la période d'ouverture du stockage fixent de façon générale les conditions de la cinétique d'évolution des principaux composants : colis, barrières ouvragées, soutènement, ... Les perturbations d'ordre

mécanique, hydraulique, thermique ou chimique guident les vitesses d'évolution jusqu'aux éventuelles dégradations qui peuvent affecter les composants du stockage. Les études de toutes ces perturbations devront donc être menées dans les laboratoires souterrains, puis évaluées par une modélisation robuste à l'aide des valeurs des paramètres acquises au cours de l'expérimentation *in situ*. Une partie de ces perturbations est induite, quel que soit le mode de stockage retenu, lors de la construction, puis de l'exploitation. Le maintien de l'ouverture du stockage pour les besoins de la réversibilité fera perdurer un certain nombre d'entre elles et provoquera, selon la durée, d'éventuelles dégradations. Il sera donc nécessaire, pour un concept de stockage réversible donné, de bien appréhender par les expérimentations en laboratoires souterrains les déformations du milieu géologique, en particulier les perturbations mécaniques, hydrauliques, thermiques, chimiques et biochimiques ainsi que tous les phénomènes liés à la désaturation du milieu, soit en raison des besoins de ventilation, soit en fonction des déchets exothermiques et de la production de divers gaz (radiolyse, corrosion).

V.1.5 - La sûreté à tous les stades

La sûreté du stockage constitue le seul critère à satisfaire dont l'enjeu a été abordé dans le chapitre III.

Si l'on se réfère à la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la gestion des déchets radioactifs signée par la France le 5 septembre 1997 (voir chapitre I), dans laquelle les fondements de sûreté* de l'entreposage et du stockage géologique profond sont décrits, il apparaît que la réversibilité d'un stockage associé dans une même installation des concepts d'entreposage et de stockage. Il est donc nécessaire d'apprécier si cette association conduit à assurer la sûreté à long terme du stockage. Il faut donc vérifier que les performances des concepts retenus pour assurer la sécurité et la sûreté durant toute la phase d'exploitation dans le cas de la réversibilité ne dégradent pas la sûreté à long terme. La faisabilité d'une installation d'entreposage en profondeur convertible en stockage doit donc prendre en compte les aspects suivants :

- ◇ l'analyse des risques d'accidents durant la phase d'entreposage et les dispositions à prévoir pour maîtriser les risques,
- ◇ le réexamen et la possibilité d'adaptation pour les déchets existants des spécifications de conditionnement des déchets en fonction des conditions et des durées envisagées pour les phases d'entreposage et de désentreposage éventuel,
- ◇ l'étude des inconvénients, pour la sûreté de la phase stockage, des dispositions prévues pour la phase d'entreposage (accès, ventilation, surveillance, manutention, ...).

Ces études, confrontées aux performances des différents composants du stockage en conformité aux objectifs fixés dans la RFS III.2.f* devraient permettre de dégager des gammes de durée possible pour divers états* de réversibilité.

Il convient également d'examiner avec attention un des avantages de la réversibilité qui concerne la sûreté supplémentaire apportée, durant la phase d'entreposage d'attente, par l'acquisition des résultats de surveillance, pour la connaissance du comportement du stockage. Compte tenu de ces observations, des correctifs technologiques pourraient être apportés, si

* Terme défini dans le glossaire

* Terme défini dans le glossaire

nécessaire, au concept initial, notamment lors de la mise en place des colis de déchets. Ainsi une meilleure assurance quant à la sûreté à long terme du stockage pourrait être apportée pour conforter la demande d'autorisation de la fermeture du stockage.

Dans le cas du maintien prolongé de l'ouverture du stockage, il conviendra également d'envisager toutes les conséquences sur la sûreté résultant d'un abandon de l'exploitation de ce stockage et de crises de divers ordres naturels ou anthropiques.

V.1.6 - La démonstration de la réversibilité

Cette démonstration recouvre toutes les études nécessaires pour assurer la réversibilité à tous les niveaux* définis par l'ANDRA et pour apporter les réponses nécessaires pour garantir celle-ci. A cet égard, on peut distinguer plusieurs stades :

- la démonstration découlant du choix des options dans le concept de stockage,
- la démonstration lors de la phase d'exploitation jusqu'à la fermeture,
- la démonstration après la fermeture du stockage.

Lors du choix du concept de stockage, les options retenues devront garantir la réversibilité : il s'agit principalement du conteneur et du surconteneur, du maintien du jeu fonctionnel entre les colis, du chemisage et des barrières ouvragées, de la durabilité des barrières ouvragées et ouvrages en béton, de la stabilité des soutènements et revêtements, des concepts et spécifications des moyens de manutention, et des techniques de remblaiements des galeries.

Pour la phase d'exploitation, la démonstration de réversibilité devra porter sur la mise en place des colis et leur reprise, les techniques d'intervention en milieu irradiant sur des colis présentant une certaine exothermie, les techniques particulières de déblaiement des galeries et des barrières ouvragées.

Après fermeture, il convient d'étudier les possibilités de reprise quel que soit l'état du stockage, y compris l'usage de la robotique et des techniques minières. Pour diverses phases de reprise, l'évaluation et la gestion des déchets primaires, constitués par les colis introduits dans le stockage, et secondaires, déchets induits par le relargage et la migration des radionucléides, constituent deux points essentiels de cette démonstration.

Concernant la " démonstration globale " de sûreté d'un stockage réversible, la Commission recommande de l'examiner à partir de la démonstration de sûreté d'un stockage irréversible (l'ensemble des exercices de sûreté internationaux disponibles aujourd'hui sont consacrés à évaluer les performances de ce cas), et de déterminer comment la robustesse et la défense en profondeur se trouvent éventuellement modifiées par les diverses dispositions techniques nécessaires à la reprise des colis.

On peut enfin signaler que deux pays étrangers (Suède et Suisse) se sont engagés dans une démonstration de réversibilité en prévoyant une phase pilote de stockage avec reprise des colis avant de passer à la phase d'exploitation proprement dite.

V.2 - Domaines d'études pour éclairer en 2006 les décisions à prendre pour l'avant-projet de stockage

Quatre domaines d'études sont à envisager afin d'éclairer les pouvoirs publics et le public qui interviendront lors de la décision parlementaire pour l'avant-projet de stockage en 2006 :

- le suivi et la surveillance du stockage,
- la gestion des déchets après reprise,
- l'évaluation technico-économique des diverses options, des niveaux et de la durée de réversibilité,
- les étapes et phases décisionnelles à envisager pour le stockage réversible.

V.2.1 - Le suivi et la surveillance du stockage

Le dispositif de suivi et de surveillance du stockage est nécessité par son caractère réversible. Deux questions essentielles, que les études devront clarifier, se posent :

- ◇ quels sont les paramètres à surveiller et sur quelle durée ?
- ◇ quels sont les inconvénients éventuels de cette surveillance sur le confinement ultérieur des déchets ?

Pour répondre à la première question, il s'agira de définir le type de paramètres (déformations, températures, teneurs en hydrogène ou en eau, radioactivité ...) puis de définir le ou les capteurs et la plage de valeur à surveiller. Certains impératifs peuvent conduire à mettre en place des recherches très innovantes, notamment sur la pérennité des capteurs.

Pour répondre à la seconde question, il sera nécessaire de démontrer que ces mesures n'entraîneront pas de déplacement de colis, que la pérennité des capteurs sera compatible avec la durée de surveillance et enfin, que l'implantation des capteurs n'entraînera pas un risque de cheminement préférentiel pour les radionucléides ou les gaz.

Cette surveillance semble d'ailleurs indispensable pendant l'exploitation du stockage qu'il soit réversible ou non. Une longue durée de la réversibilité accroît l'attention qu'il convient d'accorder à certains paramètres (teneur en gaz, corrosion ...) ou à certaines situations (arrivées d'eau, perte de signal ...) ; selon le concept retenu, le choix de ces paramètres et de ces situations nécessitera des études spécifiques.

V.2.2 - L'évaluation et la gestion des déchets pendant et après la reprise

Ce domaine est spécifique de la réversibilité et n'a pas encore été pris en compte dans la documentation remise à la Commission. Si l'on opte pour un concept de stockage réversible, il sera nécessaire au moment de la reprise de bien connaître l'inventaire initial des déchets pour en prévoir, lors de cette opération, l'évaluation des activités et la gestion des déchets primaires et secondaires qui en seront issus.

Plusieurs aspects sont à inclure dans l'avant-projet de stockage :

- l'état des déchets aux différents niveaux et stades de la reprise,
- la nouvelle gestion des colis repris,
- les effluents et déchets secondaires induits par la reprise et leur gestion,
- l'emplacement et le statut de l'installation destinée à recevoir les déchets repris,

- la remise en état et le statut de l'ancien entreposage profond.

L'état des déchets aux différents niveaux et stades de la reprise conditionne les moyens à mettre en œuvre et, en particulier, la radioprotection. Il convient donc, pour les cinq niveaux* de réversibilité et pour chaque type de colis, de définir les principales contraintes liées à l'état des déchets : tenue mécanique, irradiation, radionucléides volatils, zonage des déchets.

La nouvelle gestion des colis de déchets repris devra s'intéresser aux besoins de reconteneurage, de reconditionnement ainsi qu'au dimensionnement et à l'exploitation de l'entreposage destiné à recevoir les colis repris. Si l'intégrité des colis n'est plus assurée, un traitement des colis peut s'avérer nécessaire.

L'évaluation des effluents et déchets secondaires induits par la reprise nécessite la prise en compte de plusieurs paramètres : moyens d'intervention, intégrité des colis, activité résiduelle autorisée, matériaux des colis et barrières ouvragées, tri des déchets nécessité par la multiplicité des matériaux, en particulier ceux des barrières ouvragées et éventuellement d'une fraction de la roche hôte ... La destination enfin de ces déchets nécessite également de définir les principales filières d'évacuation.

L'emplacement et le statut de l'installation destinée à recevoir les déchets repris sont également deux aspects qui devront éclairer les décisions à prendre en 2006, notamment si la durée de réversibilité n'autorise pas une décroissance suffisante des émetteurs β γ de durée de vie moyenne. L'étude de l'emplacement de l'entreposage des déchets en cas de reprise fera intervenir, comme le site de stockage, des études de sûreté et technico-économiques.

La remise en état et le statut de l'ancien entreposage profond est un aspect lointain, mais délicat, pour le cas de la réversibilité. Les études de remise en état du site devront figurer dans l'avant-projet d'un stockage réversible. Elles devront être chiffrées dans l'étude économique.

V.2.3 - L'évaluation technico-économique des diverses options, des niveaux et de la durée de réversibilité

La réversibilité entraîne inévitablement des choix d'options qui auront un impact en terme de coûts. On peut distinguer selon le niveau* de la réversibilité et de la durée, plusieurs types de surcoûts sur :

- ◇ l'investissement pour la construction en fonction de l'option de conception retenue,
- ◇ la maintenance (galerie, soutènement, ventilation, ...),
- ◇ la surveillance,
- ◇ l'opération de reprise proprement dite et la gestion ultérieure des déchets,
- ◇ la remise en état de l'ancien entreposage profond.

Les études et certaines expérimentations nécessaires pour effectuer ces évaluations sont indispensables pour éclairer les décisions à prendre en 2006.

V.2.4 - Les étapes et phases décisionnelles à envisager pour le stockage réversible

* Terme défini dans le glossaire

L'obligation de présenter un ou des avant-projets de stockage réversible ou irréversible en 2006 impose pour le stockage réversible de concevoir des points de rendez-vous dans le temps, afin de fixer des bases temporelles précises. Le premier rendez-vous concerne la décision sur le concept de stockage ; par la suite, la faisabilité du projet industriel, puis les actions correctives et enfin les étapes décisionnelles jusqu'à la fin de l'exploitation sont autant de jalons que l'ensemble des acteurs devra envisager et préciser afin que toutes les opérations s'enclenchent progressivement, sans atteindre des points de non retour.

Compte tenu du délai court imparti par la demande ministérielle, les acteurs de la loi n'ont pas pu se concerter avant l'audition spéciale du 7 avril 1998. Ils ont donc présenté, chacun en ce qui le concerne, leurs réflexions et leur programme. Il convient tout d'abord de replacer les éléments présentés par les acteurs de la loi dans le cadre des grands choix évoqués dans le chapitre IV et de les compléter, si nécessaire. Une coordination et une harmonisation de l'ensemble des recherches nécessaires seront ensuite à définir pour toutes les études à entreprendre afin de finaliser les avant-projets de stockage d'ici 2006.

CHAPITRE VI: CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS

La décision gouvernementale du 2 février 1998 et la lettre de mission des Ministres du 30 avril 1998, demandaient à la Commission Nationale d'Evaluation de poursuivre ses réflexions sur la réversibilité des stockages et sur les moyens de l'assurer.

S'agissant d'une demande spécifique qui comporte des aspects multiples (scientifiques, éthiques, sociologiques, de sûreté ...), la Commission a tout d'abord ouvert le cadre habituel de ses auditions. Outre les acteurs de la loi, elle a entendu des experts nationaux et internationaux ainsi que des chercheurs en sciences humaines. Elle a également auditionné des associations impliquées dans le domaine nucléaire. Elle a étendu ensuite ses échanges de vue avec l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques et la Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires. Enfin, en matière juridique, elle a consulté un conseiller d'Etat.

A partir de ces consultations, de ces auditions et des documents mis à sa disposition, les réflexions de la Commission ont abouti à préciser les principales motivations et les critères qui sous-tendent la réversibilité dans le contexte général de la gestion des déchets radioactifs. La décision sur la réversibilité ou l'irréversibilité du stockage n'est d'ailleurs pas à prendre dans l'immédiat. Cependant, à terme, une non-décision sur la poursuite du processus instauré par la loi devant conduire à résoudre le problème du stockage réversible ou non des déchets nucléaires constituerait de fait une décision, celle de laisser la charge de la gestion de ces déchets à la prochaine génération ou à des générations encore plus lointaines.

La Commission a essentiellement abordé dans sa réflexion les aspects généraux de la réversibilité et elle en a souligné l'importance dans la construction du consensus autour des options que devront arrêter les pouvoirs publics à l'échéance 2006.

Ainsi les réflexions de la Commission ont conduit à examiner successivement :

- au chapitre I, dans quel cadre légal et juridique se situait le problème de la réversibilité d'un stockage,
- au chapitre II, les motivations qui ont induit l'émergence aussi bien dans le domaine technique que sociétal de l'importance de la réversibilité,
- au chapitre III, les critères généraux à satisfaire pour envisager un stockage géologique réversible,
- au chapitre IV, les types de colis de déchets et matières nucléaires auxquels peuvent s'appliquer le concept de réversibilité, ainsi que la durée durant laquelle il est judicieux de maintenir la réversibilité,
- enfin, les recherches nécessaires pour assurer la réversibilité d'un stockage ont été présentées dans le chapitre V.

De plus, comme la demande du Gouvernement vise, dans ce cas particulier, non seulement une évaluation mais surtout une réflexion sur la réversibilité, la Commission a estimé souhaitable d'inclure dans sa conclusion des propositions concernant les diverses catégories de déchets et les études générales à mener.

La loi du 13 juillet 1992 sur le stockage des déchets industriels indique que l'élimination des déchets par abandon en stockage ne peut concerner que des déchets ultimes*. *A contrario*, toute matière valorisable doit aller en entreposage. Tout doit être fait pour diminuer le caractère polluant et dangereux des déchets ultimes*.

Sur ces bases, la Commission rappelle que les dispositions prises pour assurer la réversibilité ne doivent pas diminuer la sûreté du stockage. Elle souligne que la mise en œuvre de la réversibilité ne peut être envisagée de manière indéfinie ; mais doit être reconduite par périodes bien définies.

Dans cette perspective :

- 1 - Les combustibles nucléaires usés sont clairement un matériau potentiellement valorisable, donc justiciables d'un entreposage ; l'entreposage de longue durée en surface ou en galerie de subsurface semble le mieux adapté à la volonté de préserver la possibilité de reprendre ces matières pour les valoriser ou les transformer.
- 2 - Les déchets B* sont clairement des déchets ultimes* : les chances d'en retirer une substance valorisable ou d'en diminuer la nocivité par transmutation paraissent nulles ; leur activité est modérée ; ils sont donc justiciables d'un stockage définitif en profondeur*, s'ils sont conformes aux spécifications, tel que le prévoit la loi de 1991. Les conditions techniques sont simples puisque ces déchets ne posent pas de problème thermique. Ceci implique que les colis de déchets mais surtout les barrières ouvragées et la barrière géologique assurent la sûreté à long terme. En surface, par contre, les risques de retour rapide à la biosphère et l'intrusion humaine n'apportent pas les mêmes garanties de sûreté à long terme. Les déchets B* hors spécifications devront être remis aux normes après un entreposage approprié, si nécessaire.
- 3 - Les verres, très fortement radioactifs, renferment des substances potentiellement valorisables, ou transmutables (actinides mineurs, produits de fission à vie longue) ; mais leur reprise est loin d'être facile. Quelle que soit l'issue des études sur la faisabilité et l'intérêt d'une telle reprise, une assez longue période d'entreposage en surface est requise pour leur " refroidissement ", période qui devrait être mise à profit pour des investigations supplémentaires de nature scientifique et économique. Les verres actuellement entreposés dans l'enceinte des usines de retraitement pourraient le rester pendant des périodes définies éventuellement reconductibles ; à ce jour la période est de 50 ans pour l'usine de La Hague. A l'issue de ces périodes, ou bien les recherches sur l'axe 1 seront en voie de succès et la décision de reprise se posera surtout en termes économiques, ou bien, si elles n'ont pas abouti, le stockage définitif deviendra la solution de référence pour leur élimination.

* Terme défini dans le glossaire

* Terme défini dans le glossaire

- 4 - Enfin, il convient de considérer aussi le cas des calcinats de produits de fission* qui sont produits lors de la première phase de vitrification. Des études devront être menées pour déterminer dans quelles conditions et sous quelles formes, plus faciles à reprendre que les verres, ils seraient susceptibles d'un entreposage dans l'attente d'une mise en œuvre éventuelle de la séparation et de la transmutation (axe 1). A condition de ne pas amoindrir le niveau de sûreté pendant la période d'entreposage, cette voie pourrait apporter une contribution significative au caractère de réversibilité de la gestion de l'aval du cycle.

Selon les choix de dispositifs d'entreposage ou de stockage, deux barrières de sûreté jouent un rôle très différent :

en entreposage de surface ou subsurface, la *barrière géologique* n'a plus de rôle, si ce n'est d'offrir dans le cas de la subsurface un matériau peu coûteux pour parer aux intrusions humaines, chutes d'avion, voire séismes : les formations géologiques jouent alors le rôle de "béton gratuit". Le confinement est uniquement assuré par le *conteneur* qui doit être de haute qualité. Compte tenu des faibles quantités concernées (quelques milliers de tonnes), cette situation nous paraît la meilleure pour les combustibles irradiés -hors piscine- et éventuellement les colis de verre (déchets C*). On peut raisonnablement penser que le conteneurage de haute qualité est réalisable, sans obstacle majeur. Ceci n'est pas le cas pour les déchets B*.

Une préférence est exprimée en faveur de galeries souterraines, à flanc de colline ou de montagne, comme dans le projet d'ouvrage préparé par la NAGRA-CEDRA* pour Wellenberg* (Suisse) : les camions ou les wagons peuvent pénétrer de niveau dans la galerie principale, la présence d'un environnement géologique permet de disposer des protections passives évoquées ci-dessus. La réversibilité est simple puisque les véhicules et engins de manutention peuvent pénétrer jusqu'au lieu de l'entreposage.

- en profondeur, la *barrière géologique* joue un rôle spécifique autour du stockage supposé réversible pendant sa phase d'exploitation (50 à 70 ans) et irréversible après la fermeture définitive. Aux termes de la RFS III.2f*, elle doit pouvoir constituer par elle-même une barrière empêchant le retour des radionucléides vers l'homme et la biosphère. Cette situation nous paraît la meilleure pour les déchets B* : ceux-ci représentent des volumes très importants, avec des conditionnements très divers, ou même en attente de conditionnement. Au total, leur évaluation* pour le dimensionnement du stockage est de 135 000 m³ dont environ 50 000 m³ sont prévus en 2020. L'abondance et la diversité des déchets B* laisse peu d'espoir de les voir placer dans des *conteneurs* de longue durée de vie pour les installer de façon sûre en surface ou subsurface. En profondeur, la barrière géologique (par exemple une argile) est amenée à jouer ici le rôle le plus important.

On pourrait, de plus, penser à un revêtement des conteneurs susceptibles de prolonger leur durée de vie en retardant les interactions entre d'éventuelles eaux souterraines et les bétons ou les bitumes de la matrice.

Comme il a été indiqué précédemment, la Commission considère que la réversibilité d'un tel stockage restera toujours possible mais elle recommande que sa conception facilite au maximum la mise en œuvre éventuelle de la réversibilité sans réduire en aucune façon la sûreté intrinsèque du stockage.

* La Commission fait sienne l'idée émise ici par le professeur CASTAING lors de la dernière réunion à laquelle il a participé (audition du 26 février 1998)

* Terme défini dans le glossaire

* audition du 8 janvier 1998 et inventaire ANDRA transmis le 14 mai 1998.

Dans tous les cas envisagés, la simulation numérique va jouer un rôle central, à cause de l'impossibilité d'expérimenter sur des périodes longues. Il conviendra donc d'accorder une attention toute particulière aux modèles, à leur domaine de validité, à leurs performances et à leur validation.

De même, il sera nécessaire de conduire des évaluations de risque et de sûreté ainsi que des études d'ingénierie, associées à tout projet de conception d'un stockage, pour démontrer que les moyens techniques nécessaires à la réversibilité sur plusieurs décennies existent avec la robustesse requise à chaque étape et à chaque niveau. Ces études permettraient de s'assurer que le projet de stockage ne possède aucune caractéristique critique qui pourrait s'opposer à la réversibilité. Menées avec toute la transparence souhaitable, elles permettraient au public de disposer d'une présentation claire des moyens disponibles pour protéger l'homme et son environnement.

La loi de 1991 prévoit la réalisation de laboratoires souterrains. Qu'un éventuel stockage soit réversible ou irréversible, les expérimentations et démonstrations seront nécessaires notamment en laboratoire souterrain. La procédure générale s'appuyant sur des puits et des galeries est une technique minière classique qui paraît appropriée. Ces travaux devront bénéficier d'une durée suffisante pour apporter les éléments indispensables pour l'avant-projet de stockage. Les recommandations de la CNE confirment, au moins pour une catégorie de déchets représentant de gros volumes, la nécessité de ces études en vue d'une décision qui sera prise par les pouvoirs publics en 2006.

ANNEXE 1 – LETTRE DE MISSION DES MINISTRES (non fournie)

ANNEXE 2 : HISTORIQUE DE LA REVERSIBILITE DU STOCKAGE EN FRANCE

**SYNTHESE DE LA NOTION DE REVERSIBILITE DANS LA LOI DE 1991 :
EVOLUTION DU TEXTE DE LOI LORS DES DISCUSSIONS PARLEMENTAIRES
PERCEPTION PAR LA MISSION BATAILLE
ET LORS DES ENQUETES PUBLIQUES SUR LES DAIE**

La loi du 31 décembre 1991 a fait l'objet de nombreuses discussions d'abord au sein de l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques, instigateur du projet de loi, puis au sein de la Commission de la Production et des Echanges, à l'Assemblée Nationale et au Sénat. C'est au cours des discussions que le texte définitif de la loi a été élaboré et que la notion de réversibilité a pris corps. Ensuite, lors de la mission de médiation et de concertation (Mission Bataille) et enfin au cours des enquêtes publiques et des votes des collectivités locales, une perception accrue par le public de la notion de réversibilité s'est faite jour.

2.1. - Evolution de la notion de réversibilité avant la promulgation de la loi

2.1.1 - Présentation du projet de loi devant la Commission de la Production et des Echanges

Le projet de loi n° 2049, présenté le 12 juin 1991 à la Commission de la Production et des Echanges au nom de l'Office parlementaire par le rapporteur, Monsieur le Député Christian BATAILLE, ne contenait pas, dans son article premier, de référence à la notion de réversibilité. Concernant le passage consacré dans cet article au rapport annuel de la CNE, il était écrit :

*“ ce rapport fait état de l'avancement des travaux qui sont menés simultanément pour :
l'étude de formations géologiques profondes notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains ; ... ”*

et en référence à l'enfouissement, à l'article 2, on lisait :

“ les conditions dans lesquelles sont mis en place et exploités les laboratoires souterrains destinés à étudier les formations géologiques profondes où seraient susceptibles d'être enfouis les déchets radioactifs ... ”

La notion d'enfouissement que le projet de loi “ *privilegiait exagérément* ” selon Monsieur le Député Yves COUSSAIN a conduit, d'une part, à la modification par amendement n° 3 de l'article 2 en remplaçant “ *d'être enfouis* ” par “ *d'être stockés* ” et, d'autre part, à une précision importante du rapporteur : “ *le stockage ne peut pas être considéré comme irréversible, l'évolution des connaissances scientifiques peut dans l'avenir en modifier les données* ”.

A ce stade de la discussion, l'amendement à l'article premier présenté par Monsieur le Député Claude BIRRAUX conduisait à introduire en deux endroits la notion de réversibilité.

“ dans l'hypothèse où l'enfouissement dans le sous-sol s'avérerait, en 2006 comme la solution la meilleure au plan scientifique et au plan de la protection de l'environnement, cet enfouissement ne pourra être que provisoire et réversible ... ”

“ En 2006, le Gouvernement fera procéder à la rédaction d'un rapport public global d'évaluation qui devra établir ... les solutions de l'enfouissement réversible, du stockage en surface et de l'élimination définitive ... ”

Cet amendement, proposé à la Commission de la Production et des Echanges, a été discuté lors de la lecture à l'Assemblée Nationale mais n'a pas été adopté.

2.1.2 - Présentation du projet de loi devant l'Assemblée Nationale et le Sénat

Les discussions parlementaires, tant à l'Assemblée Nationale qu'au Sénat ont apporté une contribution importante pour éclairer la notion de “ stockage réversible ou irréversible ” tel qu'il apparaît dans la loi promulguée le 30 décembre 1991.

Il est particulièrement intéressant de relever les motivations des parlementaires qui ont conduit à introduire cette notion dans le texte de la loi au cours des diverses sessions :

- Assemblée Nationale : 25 et 27 juin 1991
- Sénat : 6 novembre 1991
- Assemblée Nationale : 25 novembre 1991
- Sénat : 11 décembre 1991
- Assemblée nationale : 17 décembre 1991
- Sénat : 18 décembre 1991

2.1.2.1 - Les discussions sur la réversibilité

Les discussions dans les assemblées ont permis d'améliorer le texte de la loi non seulement sur la notion de réversibilité mais aussi sur le rôle de la Commission Nationale d'Evaluation, le Comité de suivi et divers points de détail ; la notion de réversibilité constitue avec quelques autres points (budget de la loi, problèmes des laboratoires sur les sites, création de l'ANDRA) l'élément qui a suscité des interventions nombreuses et ce jusqu'à la dernière lecture.

2.1.2.2 - Objectifs défendus par un certain nombre de parlementaires

Trois notions importantes sont apparues pour le problème de stockage :

- “ *ne rien engager d’irréversible* ”
- le mot stockage définitif s’oppose au stockage réversible ; le stockage constitue un moyen “ *peut-être provisoire d’ailleurs* ” de gérer les déchets ”
- le stockage après 2006 nécessite une nouvelle loi qui en définira les modalités.

2.1.2.3 - Opposition entre le terme réversible ou irréversible

Ces deux termes ont été introduits dans le débat dès le début (25 juin 1991) selon des approches très différentes :

- “ *a-t-on le droit d’hypothéquer définitivement toute utilisation du sous-sol pour l’avenir ?* ” (J.L. MASSON, Député).
- “ *tout stockage souterrain devrait être conçu de sorte qu’en cas de nécessité, on puisse procéder au déstockage* ”. (J.L. MASSON, Député).
- “ *à cette philosophie de la réversibilité s’opposent, hélas ! des objectifs de rentabilité économique ... de dégagement de responsabilité de la part des organismes stockeurs* ”. (J.L. MASSON, Député).
- “ *faute de législation, les détenteurs de polluants privilégient donc des stockages irréversibles* ”. (J.L. MASSON, Député).

2.1.2.4 - Les domaines de la réversibilité et de l’irréversibilité

Au cours de la discussion du texte de la loi, certains parlementaires ont souhaité introduire un “ *principe* ” : celui qui privilégie ou non la réversibilité des solutions recherchées. Ils souhaitaient en conséquence élargir ce principe “ *à tout le domaine de la recherche y compris au problème du conditionnement qui doit aussi permettre des manipulations réversibles. En effet, nous pouvons très bien envisager que la science puisse, dans cinquante ans, améliorer un conditionnement actuel : c’est une forme de réversibilité, compte tenu de l’évolution de la solution. Or s’agissant d’une science neuve, nous ne pouvons pas exclure que des découvertes futures permettent d’améliorer des points acquis de la science, à l’heure actuelle* ”.

Ce point de vue étend la notion de “ *réversibilité* ” depuis le conditionnement des déchets jusqu’à leur stockage ; cette notion s’applique donc aux axes 2 et 3 et s’agissant de techniques innovantes pour la gestion du cycle et des déchets, à l’axe 1 de la loi de 1991.

2.1.2.5 - Clarification de la notion de réversibilité par rapport aux laboratoires souterrains

La notion de réversibilité doit être définie lorsqu'on prendra la décision d'enfouir les déchets, c'est-à-dire après 2006. Le laboratoire souterrain n'est pas soumis à la réversibilité puisqu'aucun déchet n'y est admis. Selon le Ministre Dominique STRAUSS-KAHN, " *le problème deviendra réel lorsque la question sera posée à l'Assemblée* ", en 2006.

2.1.2.6 - Les motivations de la réversibilité

- La première, déjà ancienne est le progrès de la science : celle-ci est même postérieure à la discussion de la loi ; le 8 novembre 1989, Monsieur Brice LALONDE, Ministre de l'Environnement affirmait :

" je souhaite que l'on puisse conserver le caractère réversible d'un stockage, même souterrain, car rien n'indique que l'on ne trouvera pas mieux après pour gérer ce genre de déchets ou nous en débarrasser ".

L'article 3 bis, introduit par le Sénat, a pour objet de préserver la possibilité d'appliquer aux déchets radioactifs stockés les connaissances scientifiques qui seront découvertes ultérieurement. Il pose, en réalité, tout le problème de la réversibilité. Certes, cette solution apparaît meilleure, bien que l'on puisse défendre l'irréversibilité, en particulier pour le cas des déchets ultimes* (cas des déchets B* abordés par Monsieur le Député BIRRAUX – voir chapitre 2.1.2.7).

- La seconde notion est le rappel de la responsabilité des producteurs et de l'ANDRA :

" ne pensez-vous pas que l'enfouissement définitif des déchets radioactifs est en fait une façon d'exonérer de leurs responsabilités les producteurs de déchets et les auteurs du stockage, en les dispensant d'en assurer le suivi à très long terme ? ". (J. de GAULLE, Député)

- La troisième notion, qui a été très largement débattue, concerne le droit des générations futures auquel est associée l'éthique :

" nous considérons que l'éthique et la morale doivent être au cœur du débat sur la gestion de ces déchets . Le problème vous est posé dans les termes suivants : qu'avons-nous le droit de laisser aux génération futures ? Faut-il faire confiance à la qualité des roches et on abandonne les déchets sans aucune possibilité pour les générations de les reprendre, ou faire confiance au progrès scientifique et laisser à nos descendants la possibilité de résoudre le problème que nous ne sommes pas en mesure de régler aujourd'hui ? " (M. LAFFINEUR, Député).

" l'intérêt de maintenir l'accès aux déchets stockés, en vue d'un contrôle permanent et d'une reprise éventuelle, me paraît s'imposer à l'évidence au regard des générations futures ... "
(J. de GAULLE, Député).

" le problème de la réversibilité est un point particulièrement sensible, pour les jeunes notamment, mais également pour l'ensemble de l'opinion française et internationale, parce que nous avons des devoirs envers les générations futures ".(F.M. GONNOT, Député).

* Terme défini dans le glossaire

* Terme défini dans le glossaire

“ nous ne devons pas non plus nous débarrasser sur les générations futures de problèmes, sans même fournir l'esquisse de solutions ”. (D. STRAUSS-KAHN, Ministre).

- La quatrième notion est traduite par l'utilisation de plusieurs termes pour faire part des risques (crainte, acceptation des risques, risques d'accidents ...) :

“ j'ai deux craintes - La première est que nous ne nous engagions de manière irréversible dans le stockage souterrain, qui est lui-même irréversible. La seconde est fondée sur la conviction que votre démarche législative tend à protéger exclusivement l'installation et le fonctionnement du laboratoire ... ” (J. BOYON, Député).

“ à ce risque industriel (production des déchets) s'ajoute le risque d'irréversibilité. Nous attendons, Monsieur le ministre, des garanties sur cette dernière ... ” (S. ROYAL, Députée).

“ personne ne peut garantir qu'il n'y a pas de risques et que le sous-sol est stable ... ”
(S. ROYAL, Députée).

“ une telle solution n'est évidemment pas acceptable ... On a tout le temps d'approfondir toutes les études, ce qui éviterait de prendre des risques excessifs ou, à tout le moins, mal calculés ... ”
(J.L. MASSON, Député).

- La cinquième notion traite de la sûreté :

“ c'est pourquoi je souhaite que, sur cette grave question des déchets nucléaires, aucune équivoque ne subsiste et qu'il soit clair pour tous que la question de la sécurité restera en tout état de cause le premier critère de choix ”. (R. DOSIERE, Député).

“ je souhaiterais d'ailleurs, Monsieur le Ministre, que vous puissiez nous indiquer votre conception sur la sûreté des déchets radioactifs à vie longue pendant la période de stockage ... ” (J.Y. Le DEAUT, Député).

- La sixième notion s'exprime sur le plan technique ; c'est-à-dire les moyens techniques, l'architecture :

“ la réversibilité ou l'irréversibilité dépend de la forme de la cavité, de son accès et de la fermeture, du recouvrement éventuel par des plantations de la zone où se trouve le centre de stockage, etc ... C'est cela qui rend réversible ou irréversible le stockage des déchets ”.

(D. STRAUSS-KAHN, Ministre délégué au Sénat).

“ l'irréversibilité, c'est l'idée que les couches géologiques bougeant, le puits se referme ”. *“ La réversibilité signifie que les puits sont entretenus régulièrement pour pouvoir continuer à y accéder ”.* ((D. STRAUSS-KAHN, Ministre délégué au Sénat).

“ il faut que les galeries ne soient pas définitivement obturées et restent constamment accessibles pour permettre le reconditionnement des produits le jour où les progrès de la science l’autoriseront ”. (J. PEPIN, Sénateur).

- La septième notion concerne la durée de la réversibilité et la décision de fermeture du stockage :

“ le problème de l’irréversibilité ne se posera pas avant une cinquantaine d’années, puisque c’est seulement dans quinze ans que sera prise, au vu des recherches entreprises, la décision de réaliser un centre de stockage. Comme il faut une trentaine d’années pour le remplir, c’est donc bien à ce moment là que la décision d’irréversibilité devra être prise ”.

(R. DOSIERE, Député).

“ quant à la possibilité de la réversibilité des éventuels sites de stockage, Monsieur le rapporteur souhaite que l’on puisse changer d’avis pendant les cinquante premières années du stockage. Je le souhaite aussi. Je dirai même : il le faut ”.

(R. GOUHIER, Député)

Cette discussion conduit à insérer l’article 3.1 de la loi de 1991 :

“ art.3-1 - le stockage souterrain en couches géologiques profondes de produits dangereux, de quelque nature qu’ils soient, est soumis à autorisation administrative. Cette autorisation ne peut être accordée ou prolongée que pour une durée limitée et peut en conséquence prévoir les conditions de réversibilité du stockage. Les produits doivent être retirés à l’expiration de l’autorisation.

Les conditions et garanties selon lesquelles certaines autorisations peuvent être accordées ou prolongées pour une durée illimitée, par dérogation aux dispositions de l’alinéa précédents, seront définies dans une loi ultérieure ”.

- D’autres notions ont fait l’objet d’intervention ; elles expriment des préoccupations diverses comme l’association de l’irréversibilité à l’urgence :

“ à la limite, si l’on restreint notre choix à une seule solution “ irréversible ; c’est peut-être simplement parce qu’il y aurait urgence ”. (P. GIROD, Sénateur).

2.1.2.7 - Le point particulier du stockage des déchets B*

A deux reprises, le stockage des déchets B* a été évoqué pour mettre en évidence quelques particularités liées à leur stockage.

Monsieur BIRRAUX a souligné la nécessité d’étudier aussi le stockage des déchets B*. *“ Il s’agit de déchets de grand volume, notamment technologiques, résultant de toutes sortes de matériels - robinets, conduites, par exemple, qui ont été*

* Terme défini dans le glossaire

* Terme défini dans le glossaire

irradiés : ce n'est pas directement du combustible - et qui sont coulés dans de gros volumes de béton. Pour le moment, ces déchets B ne peuvent pas être retraités, mais ce sera peut-être possible un jour grâce aux progrès de la science ”.*

“ Pour ces déchets à moindre activité, il n'y a guère d'autre voie aujourd'hui que de tester la possibilité de les enfouir au lieu de les laisser en surface. On verra, grâce aux laboratoires, si l'enfouissement est une piste raisonnable ou non. En tout cas, Monsieur BIRRAUX ne peut pas dire qu'il n'est pas question des déchets B puisque l'un des objets du projet de loi est justement de tester la possibilité de les mettre en profondeur. Ce n'est peut-être pas la bonne solution, ce n'est peut-être pas la seule, d'autres apparaîtront peut-être, mais il n'y a aucune raison de ne pas la tester pour des déchets dont l'activité radioactive est infiniment moins grande que celle des déchets C* issus du retraitement et qui se trouvent au centre de notre projet . (D. STRAUSS-KAHN, Ministre à l'Assemblée Nationale).*

De toutes les manières, il apparaît clairement que les déchets technologiques de type alpha devront être stockés en l'état et qu'il restera une part incompressible de déchets à stocker. La poursuite des recherches dans les couches géologiques profondes est donc apparue comme une prudence incontournable. Elle n'est pas le résultat d'une lubie de “ professeurs Tournesol ” nationaux, mais une évidence qui s'est imposée à tous les spécialistes mondiaux de la question”. (C. BIRRAUX, Député).

Ces deux interventions montrent que les parlementaires, au cours des discussions, ont introduit la notion de “ solution ” pour résoudre des problèmes particuliers ; il n'y a peut-être pas une seule solution mais des solutions.

2.2 - La mission de médiation sur l'implantation de laboratoires de recherche souterrains par Monsieur le Député Christian BATAILLE (D.A.I.E.)

Dans son rapport, remis au ministre de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Commerce extérieur ainsi qu'au ministre de l'Environnement le 20 décembre 1993, Monsieur le Député Christian Bataille formulait un certain nombre de recommandations dont deux sur les garanties pour le stockage et les laboratoires souterrains. La première concerne la réversibilité du stockage :

“ Il s'agit d'abord de la réversibilité du stockage qui m'apparaît comme une garantie autant scientifique que morale. La loi dispose en effet, à son article 4, que, parmi les travaux à mener au titre des trois voies de recherche, devra figurer l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans la formation géologique profonde. Cet objectif est souvent perçu comme l'intention mal déguisée de procéder à un enfouissement immédiat, total et définitif des déchets. Il est donc indispensable d'annoncer clairement que les programmes des recherches à conduire dans les laboratoires souterrains accorderont une priorité à l'étude des dispositifs permettant ultérieurement la réversibilité du stockage. Compte tenu des progrès de la science et des techniques, de l'avancement des autres voies de recherche, cette particularité réservera la possibilité et donc la liberté de choisir ”.

2.3. - La réversibilité dans l'enquête publique sur les Demandes d'Autorisation d'Installation et d'Exploitation des Laboratoires Souterrains.

Dans les dossiers déposés par l'ANDRA en 1996, le thème de la réversibilité a été présenté d'une part, sous l'aspect des objectifs poursuivis par le programme d'études et de recherches et, d'autre part, sous l'aspect des recherches à effectuer dans les laboratoires souterrains. Les avis exprimés par le public, les collectivités locales et les Commissaires-enquêteurs font part d'un certain nombre de notions, dont certaines rejoignent les préoccupations des parlementaires :

- la réversibilité dérive du principe de précaution^{*}, qui selon qu'il est affiché ou non, conditionne l'acceptabilité ou le rejet du projet dans son ensemble (laboratoire et stockage),
- la réversibilité est une sauvegarde contre " l'enfouissement définitif " qui apparaît comme discutable du point de vue de l'éthique,
- la réversibilité est une notion imprécise actuellement, ce qui amène à la qualifier d'illusoire et de techniquement non garantie,
- de nombreux élus, enfin demandent un engagement sur la réversibilité sinon point de laboratoire.

Cette analyse succincte des débats parlementaires sur la loi de 1991 et des préoccupations exprimées au cours des enquêtes publiques montre à l'évidence que la réversibilité a fait l'objet d'un souci permanent de prise en compte par les parlementaires et le public plutôt que d'une discussion approfondie ; plusieurs aspects ont été analysés par la Commission dans son rapport n° 3 (septembre 1997) lors de ses premières réflexions. Ils sont largement explicités dans le présent document, en particulier : les critères et motivations de la réversibilité, les solutions pour satisfaire la réversibilité, la durée, le niveau de réversibilité et enfin l'application de la réversibilité aux concepts de stockage et aux types de déchets.

* Terme défini dans le glossaire

**SYNTHESE SUR LA REVERSIBILITE DANS LES PROJETS ETRANGERS D'ETUDE DU STOCKAGE EN
FORMATION GEOLOGIQUE PROFONDE**

- ACTIONS INTERNATIONALES - LES SOLUTIONS EXTREMES PROPOSEES

3.1- Examen de la situation du stockage réversible ou irréversible à l'étranger ; comparaison avec la situation en France

L'examen de la situation actuelle dans les pays étrangers est analysée sous quatre aspects :

- la situation administrative et réglementaire (tableau 3.1),
- les motivations et les critères de réversibilité (tableau 3.2),
- les modalités de la réversibilité (tableau 3.3),
- la réversibilité et la sûreté.

La situation française est reportée dans les différents tableaux afin de pouvoir établir une comparaison avec les pays étrangers pour les trois premiers aspects examinés.

Concernant la situation administrative et réglementaire (tableau 3.1), trois cas se présentent actuellement :

- la réversibilité du stockage est une obligation légale ou administrative : Canada, Etats-Unis (Yucca Mountain^{*}), Pays-Bas ; en France, sa prise en considération est prévue dans la loi de 1991,
- la réversibilité du stockage découle d'un choix fait par les agences de gestion des déchets ou par les autorités de sûreté ou encore fait l'objet d'un examen : Belgique, Espagne, Grande-Bretagne, Suède, Suisse,
- la réversibilité du stockage n'est pas actuellement considérée, ou de façon très limitée, ou encore la réversibilité est sans influence sur le concept de stockage : Allemagne, Etats-Unis (WIPP), Finlande, Japon.

La situation des Etats-Unis se trouve soit dans le cas 1 pour le stockage des combustibles usés à Yucca Mountain, soit dans le cas 3 pour le stockage des déchets transuraniens militaires au WIPP^{*} (ces déchets sont assimilables à certains déchets B* selon la définition française).

Concernant les motivations et les critères de la réversibilité (tableau 3.2), la situation montre une plus grande diversité : pour les pays où il existe une obligation légale ou réglementaire, cette contrainte est évidemment la motivation première ; si l'on effectue un recensement allant des motivations issues de la perception du public jusqu'aux critères techniques et économiques, on trouve :

* Terme défini dans le glossaire

* Terme défini dans le glossaire

- l'acceptation du public (Canada, Grande-Bretagne, Suisse),
- le choix des générations futures (Suède),
- la minimisation des charges des générations futures (Pays-Bas),
- la réutilisation éventuelle des déchets (Pays-Bas),
- la garantie de la sûreté opérationnelle durant la manutention (Belgique).

Concernant les modalités de la réversibilité, essentiellement la durée (tableau 3.3), six situations peuvent se rencontrer :

- la durée n'est pas définie (Espagne, France, Grande-Bretagne),
- la période est " longue (Pays-Bas),
- jusqu'à la fermeture du stockage (Canada, Suisse),
- durant la phase d'exploitation (Belgique),
- durant la phase pilote (Suède),
- durant 50 ans (Etats-Unis - Yucca Mountain*).

Si l'on s'intéresse aux déchets concernés, les catégories les plus nombreuses concernent la Suisse et la France ; pour les autres pays, il s'agit soit de déchets vitrifiés (Belgique, Pays-Bas), soit des combustibles usés (Canada, Espagne, Etats-Unis, Suède) ; les milieux géologiques sont eux aussi de nature très diverse.

Les problèmes relatifs à la sûreté du stockage réversible font l'objet d'études spécifiques dans 2 pays :

- la Suisse prévoit une évaluation de sûreté avant et après la fermeture du stockage avant de prendre une décision,
- la Canada développe un programme de surveillance approfondi pour garantir la sûreté d'un stockage " ouvert ".

Pour tous les autres pays, l'étude de sûreté est un préalable à l'autorisation pour l'avant-projet ou le projet de stockage.

Cet examen met en évidence que le stockage réversible nécessite pour de nombreux pays des clarifications, tant au point de vue administratif et réglementaire qu'au point de vue des motivations ou critères ainsi que des modalités. Par ailleurs, certains pays n'ont pas introduit la notion de réversibilité dans leur concept, soit globalement, soit pour certains types de déchets (du type FMA* et déchets B*). La nature de la roche d'accueil ne constitue pas à proprement parler un critère de réversibilité ou d'irréversibilité

* Terme défini dans le glossaire

Tableau 3.1 - Situation administrative et réglementaire du principe de réversibilité à l'étranger et en France

<u>cas 1</u> : obligation légale ou administrative	<u>cas 2</u> : choix fait par les agences de gestion ou les autorités de sûreté ou examen en cours	cas 3 : non considéré (aucune obligation, sans influence sur le concept de stockage)
<p>Pays-Bas : loi de 1984 modifiée en 1993</p> <p>Canada : prescriptions de sûreté R71-1995</p> <p>Etats-Unis - Yucca Mountain* : 10 CFR 60.111, 1983</p> <p>France : possibilité prévue par la loi du 30.12.1991</p>	<p>Belgique : préoccupation ONDRAP*</p> <p>Espagne : indispensable - autorités de sûreté</p> <p>Suède : critère de conception</p> <p>Suisse : préoccupation actuelle CEDRA-NAGRA*</p> <p>Grande-Bretagne : examen en cours</p>	<p>Allemagne : préoccupation de non prolifération</p> <p>Etats-Unis – WIPP*</p> <p>Finlande</p> <p>Japon</p>

* Terme défini dans le glossaire

Tableau 3.2 - Motivations et critères de la réversibilité à l'étranger et en France*

Pays	Motivations - Critères
Belgique	Garantie de la sûreté opérationnelle durant la manutention
Canada	Réglementation - acceptation du public
Espagne	Demande des autorités de sûreté
Etats-Unis (Yucca Mountain)	Réglementation
France	Réglementation – loi de 1991
Grande-Bretagne	Acceptation du public
Pays-Bas	Réutilisation éventuelle des déchets - minimisation des charges pour les générations futures choix laissé à la génération suivante de revenir en arrière ou de continuer le stockage
Suède	acceptation du public
Suisse	

Tableau 3.3 - Modalités de la réversibilité (durée, déchets concernés, milieu géologique) à l'étranger et en France

Pays	Durée	Déchets concernés	Milieu géologique
Belgique	Phase d'exploitation	Déchets vitrifiés	Argile
Canada	jusqu'à la fermeture	Combustibles usés	granite
Espagne	non définie	Combustibles usés	non arrêté
Etats-Unis (Yucca Mountain)	50 ans après début de l'exploitation	Combustibles usés	tuff volcanique
France	non définie	Combustibles - verres - déchets B*	granite ou argile
Grande-Bretagne	non définie	déchets M.A.*	non défini
Pays-Bas	“ longue ” période	déchets vitrifiés	sel
Suède	phase pilote	combustibles usés	granite
Suisse	jusqu'à la fermeture	déchets vitrifiés – FMA*	marne (argile calcaire)

* Terme défini dans le glossaire

3.2 Les actions concertées internationales en matière d'études sur la réversibilité

Une première approche technique sur la réversibilité des déchets en stockage profond a été réalisée sous l'égide de l'Union Européenne dans le cadre du 3ème P.C.R.D. Cette analyse a donné lieu à la publication EUR-16197 (Retrievability of radioactive waste from a deep underground disposal facility).

Dans le cadre du 4ème P.C.R.D., une proposition d'étude communautaire a été soumise à l'Union Européenne en 1995 sous l'acronyme METRO* (Methods for Evaluation of Techniques for Retrievable disposal) conjointement par l'ANDRA, l'ECN* (Pays-Bas) auxquels s'est joint SCK-CEN* (Belgique).

Une association plus large comprenant :

ECN*	(Pays-Bas)
ANDRA*	(France),
SCK-CEN*	(Belgique),
DBE*	(Allemagne),
ENRESA*	(Espagne),
POSIVA*	(Finlande),
NIREX*	(Grande-Bretagne),
KARUWEEG*	(Pays-Bas)

a été constituée en 1996 ; le cadre contractuel a été mis en place en 1997 (référence F14W-CT97-0039).

L'objectif de cette action est l'établissement d'une interprétation claire et la définition de travail du concept de réversibilité.

Cette action est programmée en trois étapes :

- mars-octobre 1998 : Inventaire des points de vue sur la réversibilité dans les différents pays : considérations réglementaires ou sociales, impact éventuel sur les concepts de stockage, relation entre réversibilité et sûreté, impact sur les programmes d'études ;

* Terme défini dans le glossaire

- octobre 1998 - septembre 1999 : Clarification en commun d'aspects spécifiques de la réversibilité, sélectionnés sur la base de l'inventaire ci-dessus ; les thèmes identifiés à ce stade sont :

- la réversibilité et les différentes phases de la vie d'un stockage (construction, exploitation, fermeture progressive, phase post-fermeture) ;
- la réversibilité est-elle un critère de conception du stockage ?
- l'influence de la réversibilité sur la sûreté dans les différentes phases de vie d'un stockage :
 - ◆ en roche dure (granite)
 - ◆ en milieu sédimentaire (argileux, sel),
- les niveaux de réversibilité (efforts à mettre en œuvre pour retirer des colis de déchets dans les différentes phases d'un stockage) ;

- octobre -décembre 1999 : Etape de conclusion - Mise en lumière d'éléments communs dans les différents pays en matière d'objectifs, d'interprétation et de critères relatifs à la réversibilité ; analyse des différences observées ; besoins de recherche complémentaire sur le thème de la réversibilité.

Dans les agences internationales de l'Energie Nucléaire (OCDE/AEN ; AIEA), différents groupes de travail ont été mis en place et se préoccupent également de cet aspect de la réversibilité des stockages des déchets radioactifs.

Enfin, les diverses agences chargées de la gestion des déchets radioactifs pour le compte de leur pays commencent à organiser des séminaires consacrés à ce sujet. C'est ainsi que du 6 au 8 octobre 1997, sous l'égide de la NAGRA* (Suisse) et de SKB* (Suède), 32 agences ou organismes impliqués dans la gestion des déchets se sont réunis à Lucerne pour échanger leurs réflexions sur l'influence de la réversibilité en matière de concept, construction et exploitation des stockages de déchets. Monsieur Piet ZUIDEMA (NAGRA*, Suisse), au cours de l'audition du 6 avril 1997, a présenté à la Commission les principales conclusions de ce séminaire. L'état de la réflexion acquise à ce jour peut se résumer comme suit :

- un constat : la réversibilité est une option envisagée dans tous les pays ayant développé un concept de stockage,

* terme défini dans le glossaire

- les motivations et critères sont sensiblement les mêmes dans tous les pays et sont axés autour de quatre pôles :
 - l'amélioration de l'acceptation par le public,
 - la réutilisation des déchets ou d'une fraction de ceux-ci,
 - le développement de technologies nouvelles pour réduire la radiotoxicité,
 - le libre choix des générations futures pour fermer le stockage ou retirer les déchets,
- la durée de la réversibilité (souvent non définie) est généralement limitée ; elle est liée à la durée de l'intégrité des colis ; la phase du scellement est l'étape critique : avant scellement la réversibilité est aisée ; après scellement, les moyens techniques et financiers nécessaires sont importants,
- au concept de réversibilité sont associées des modalités de surveillance, de démonstration de sûreté, notamment la validation, avant fermeture, de tous les modèles prédictifs,
- un compromis semble devoir être trouvé entre l'acceptation du public, la sûreté du stockage, le coût de la phase de surveillance avant la fermeture ; il faut par ailleurs laisser aux générations futures le libre choix de décision sans leur laisser une charge importante et une responsabilité non assumée par la génération actuelle.

En conclusion, ce panorama international met en évidence d'une part, que le concept de réversibilité nécessite encore une réflexion approfondie avant de passer à l'étape du stockage et, d'autre part, que la phase des études dans les laboratoires souterrains devra conforter les modalités techniques, la démonstration et la validation globale du concept et enfin fixer la durée résultant d'un compromis acceptable entre la technique, le coût et la liberté de choix des générations futures.

3.3 - La réversibilité du stockage : cas de la Suisse

Le 6 avril 1998, Monsieur Piet ZUIDEMA a exposé aux membres de la Commission, l'état de la situation sur le problème de la réversibilité des stockages en Suisse. Après une période de refus, suivi d'une période de doute, l'ensemble des organismes impliqués dans la gestion des déchets est à présent convaincu de la nécessité de prendre en considération la réversibilité. Les réflexions sur le stockage réversible se développent autour de quatre thèmes :

- la science et la technologie : modification du concept de stockage avec démonstration de la sûreté à long terme avant tout dépôt de déchets en vue d'obtenir l'autorisation des autorités,
- l'éthique : information et communication des résultats techniques pour obtenir une adhésion du public et prendre en compte toutes les motivations et les droits des générations futures,
- la politique : information et communication des résultats techniques pour obtenir une crédibilité suffisante auprès de l'ensemble de la société et de l'opinion publique pour une acceptation du stockage,
- la réglementation pour établir un calendrier des décisions successives jusqu'à la fermeture du site afin d'alléger les charges des générations futures.

Le tableau 3.4 ci-après résume l'ensemble de la démarche en cours, initiée par la NAGRA-CEDRA* en charge de la gestion des déchets.

Cette première approche a conduit la NAGRA-CEDRA* à examiner dès à présent trois points importants sur lesquels la réflexion technique se poursuit :

- le réexamen des schémas opérationnels en prévoyant une approche par étapes successives,
- la démonstration de faisabilité par l'initialisation d'une opération pilote : cette étape est destinée à la démonstration technologique et la sûreté à long terme,
- la modification progressive de certaines caractéristiques de l'architecture et du concept de stockage : l'agencement général du stockage, l'accès, les colis, les barrières et les scellements.

* Terme défini dans le glossaire

Tableau 3.4 : Comment conduire la réversibilité ? (origine NAGRA-CEDRA*)

<u>Les besoins</u>	<u>L'impact de l'évaluation</u>	<u>Les incidences sur un système de stockage réversible</u>	<u>La mise en oeuvre de l'opération de réversibilité</u>
<ul style="list-style-type: none">• la définition (quelles motivations et quels critères ?)• Les objectifs des exigences	<ul style="list-style-type: none">• sur l'architecture• sur les modes opératoires• sur le financement / les coûts• sur le planning• sur la sûreté des opérations	<ul style="list-style-type: none">• la technologie• les coûts• les opérations de reprise• les effets d'impact sur la sûreté et l'environnement	<ul style="list-style-type: none">• la décision par la génération en charge des déchets• la fourniture de données<ul style="list-style-type: none">– justification (risque/bénéfice)

* Terme défini dans le glossaire

- Le statut légal ?
- sur la sûreté à long-terme
 - nouveaux scénarios ?
 - augmentation ou réduction des incertitudes ?
 - modifications des résultats de l'évaluation de sûreté ?
- sur l'acceptation par le public
- sur les garanties et la surveillance
- la clarification des démarches
 - agrément avec la sûreté et les règles de sûreté

3.4 - La réversibilité ou l'irréversibilité des stockages : quelles solutions proposées au niveau international ?

L'examen des situations internationales met en évidence une grande variété de réponses au concept de réversibilité du stockage des déchets radioactifs. Il est clair qu'aucune solution ne répond actuellement à l'ensemble des motivations, des critères techniques, des modalités envisagées. Il est donc nécessaire de clarifier, de hiérarchiser les paramètres. Toutefois à ce stade, l'analyse fait apparaître les solutions extrêmes que sous-tendent les diverses démarches internationales :

- la solution de la réversibilité totale : c'est l'entreposage indéfini en surface ou subsurface; si elle a des avantages, elle présente également des inconvénients ; l'exemple peut s'inspirer de la situation suivante : pas de retraitement des combustibles irradiés, entreposage de longue durée des combustibles usés en surface puis éventuellement, en subsurface ; il faudra décider un jour, mais la charge incombe aux générations futures,
- la solution de l'irréversibilité totale : c'est un stockage géologique définitif comprenant la notion d'oubli et d'abandon mais nécessitant toutefois des assurances importantes par la démonstration de sûreté et le confinement à long terme de la barrière géologique. La génération actuelle prend la décision.

Entre ces deux solutions extrêmes, il y a de la place pour des concepts de stockage adaptés pour les déchets spécifiques de chaque pays et selon des critères et des modalités adéquats sur lesquels, en France, devra porter la réflexion des acteurs de la loi pour aboutir à un projet cohérent en 2006.

ANNEXE 4 - GLOSSAIRE

4.1 - Définitions :

Calcinats de produits de fission :

Les solutions de produits de fission renferment les actinides mineurs et de faibles traces de plutonium et d'uranium (environ 0,1 %), issues du retraitement ; elles sont calcinées après ajout de divers composés (première étape du procédé de vitrification), puis le calcinat est mélangé à de la fritte de verre et le mélange est porté en fusion (deuxième étape du procédé de vitrification). Les calcinats de produits de fission dont il est question ici désignent les résidus que l'on obtiendrait à l'issue de la première étape de vitrification avec ou sans ajouts des composés.

Déchets :

Au sens de l'article n°1 de la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 modifiée, est considéré comme un déchet tout résidu, d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meublé abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

Déchets nucléaires ou radioactifs :

Ce sont " des matières radioactives sous forme gazeuse, liquide ou solide pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue par la partie contractante ou par une personne physique ou morale dont la décision est acceptée par la partie contractante, et qui sont contrôlées en tant que déchets radioactifs par un organisme de réglementation conformément au cadre législatif et réglementaire de la partie contractante ".

Convention commune sur la sûreté de la gestion des combustibles usés et sur la gestion des déchets radioactifs signée le 5 septembre 1997.

Déchets ultimes

(loi 75.663 du 17/07/75 et 92.646 du 13/07/92) :

Est ultime au sens de la présente loi (92.646) un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est pas susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ".

" A compter du 1^{er} juillet 2002, les installations d'élimination des déchets par stockage ne seront autorisées à accueillir que des déchets ultimes ".

Entreposage :

"S'entend de la détention de combustible usé ou de déchets radioactifs dans une installation qui en assure le confinement, dans l'intention de les récupérer ".

" Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs signée le 5 septembre 1997 ".

Entreposage de surface :

C'est un entreposage construit à la surface du sol constitué généralement de puits ou alvéoles enterrés surmontés d'un bâtiment qui assure les utilités et la conduite de l'installation. Il existe en France plusieurs entreposages de ce type : CASCAD à Cadarache, les entreposages de verres, bitumes et déchets technologiques à La Hague ; deux entreposages nouveaux de ce même type sont prévus ou en cours de construction : EIP à Marcoule, CEDRA à Cadarache. (voir acronymes pour les définitions).

Entreposage de subsurface : C'est un entreposage situé à une faible profondeur (quelques dizaines de mètres sous la surface du sol). Il comprend des puits ou alvéoles, les utilités, la conduite de l'installation et des galeries creusées à flanc de colline ou de montagne par exemple, permettant l'accès par une voie horizontale ou peu pentue. Il existe un entreposage de ce type à Studsvik en Suède. Un autre est en projet par la NAGRA-CEDRA pour Wellenberg en Suisse (voir terminologie pour les définitions).

Entreposage convertible en stockage profond : C'est la désignation proposée par certains acteurs de la loi, pour le stockage géologique réversible ; les ouvrages construits à quelques centaines de mètres de profondeur seraient considérés durant la phase d'exploitation et jusqu'à la décision de la fermeture comme un entreposage qui serait transformé en stockage géologique après la décision de fermeture.

Etats (ou niveaux) de réversibilité définis par l'ANDRA :

Etat 1 : L'alvéole est en exploitation, elle est obturée par un bouchon amovible pour permettre le passage des colis lors du chargement de l'alvéole. A ce stade, tous les mouvements sont réversibles et les différents ouvrages d'accès sont ouverts. Cet état peut être maintenu, en fonction du mode d'exploitation, sur plusieurs années ...

Etat 2 : L'alvéole étant remplie, elle peut être obturée par le bouchon définitif qui ferme la barrière ouvragée. L'alvéole a acquis sa configuration définitive ... La reprise des colis devient à nouveau possible en cas de besoin, par destruction du bouchon d'alvéole et remise en place du bouchon d'exploitation. Cet état peut être maintenu sur plusieurs dizaines d'années. Ceci ne présente pas de grande difficulté, les ouvrages d'accès sont maintenus ouverts à ce stade.

Etat 3 : Toutes les alvéoles desservies par une galerie de manutention ayant été obturées par le bouchon définitif, il est alors possible de décider le scellement de la galerie de manutention. Cette décision aura pour conséquence de supprimer l'accès direct aux alvéoles et d'empêcher la maintenance du soutènement des galeries de manutention concernées.
Il reste possible pendant plusieurs dizaines d'années d'accéder à nouveau aux alvéoles après simple déblaiement. Au-delà, dans les sites sédimentaires, le risque s'accroît d'avoir à effectuer des travaux plus lourds de réparation du soutènement dégagé. Ce risque est beaucoup plus faible et à plus longue échéance dans le granite grâce à l'excellente qualité géotechnique de la roche.

Etat 4 : Les galeries de manutention d'un module ayant été remblayées, il est envisageable de sceller les galeries d'accès à ces modules.

Ainsi les modules pourront-ils être scellés individuellement les uns des autres selon une chronologie qui pourrait être proposée pour chaque type de déchets.

Comme pour le niveau 3, la réversibilité reste possible avec les mêmes contraintes et la même distinction selon les sites en fonction de la qualité géotechnique de la roche.

Etat 5 : Le niveau 5 correspond à la fermeture des puits d'accès et de ventilation qui ne pourront être scellés que lorsque tous les modules seront eux-mêmes scellés.

Matières nucléaires : désignent des composés radioactifs qui peuvent être valorisés soit immédiatement, soit ultérieurement en raison de leur potentiel énergétique ; ce sont par exemple l'uranium et le plutonium qui renferment des isotopes fissiles.

Mine du Platine : Désigne trois métaux qui sont le ruthénium (Ru), le rhodium (Rh) et le palladium (Pd).

Objectif de sûreté de la gestion des combustibles usés et de la gestion des déchets radioactifs :

La Convention commune signée le 5 septembre 1997, fixe comme objectif de faire en sorte qu'à tous les stades de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs, il existe " des défenses efficaces contre les risques potentiels afin que les individus, la société et l'environnement soient protégés, aujourd'hui et à l'avenir, contre les effets nocifs des rayonnements ionisants, de sorte qu'il soit satisfait aux besoins et aux aspirations de la génération actuelle sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire les leurs ".

(Convention commune sur la sûreté de gestion des combustibles usés et sur la sûreté de gestion des déchets radioactifs signée le 5 septembre 1997).

Principe de précaution :

est défini comme " l'obligation pesant sur le décideur public ou privé de s'astreindre à une action ou de s'y refuser en fonction du risque possible ". (Conseil d'Etat, rapport public 1998. Etudes et documents n° 49. La Documentation Française P. 256).

Processus décisionnel linéaire :

Expression utilisée en sociologie de l'action publique pour désigner le processus dans lequel la décision résulte d'un enchaînement linéaire d'actions bien distinctes. Dans cette conception balistique des politiques publiques, l'identification d'un "problème" donne lieu à la formulation d'une expertise technico-économique qui doit permettre la prise de décision. Dans le cas des déchets radioactifs, ce modèle décisionnel semble peu adapté à la prise en compte des incertitudes et de la réversibilité des options choisies.

Séparation isotopique par laser :

Technique en cours de mise au point pour permettre l'enrichissement isotopique en particulier des noyaux lourds comme ceux de l'uranium. Le procédé français en cours de développement se dénomme SILVA.

Stockage :

" S'entend de la mise en place de combustible usé ou de déchets radioactifs dans une installation appropriée sans intention de les récupérer ".

" Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs signée 5 septembre 1997 ".

Types de déchets radioactifs, leurs activités et leur gestion :

Activité, nature et période radioactive des radionucléides présents dans les déchets déterminent trois catégories :

Catégorie A :

Déchets de faible et moyenne activité ne renfermant principalement que les émetteurs $\beta\gamma$ à vie courte ou moyenne (période ≤ 30 ans) et des émetteurs α en faible quantité ($\leq 3,7$ GBq/t ou 0,1 Ci/t limite de l'activité α après 300 ans).

Catégorie B :

Déchets de faible et moyenne activité renfermant des émetteurs de longue période et notamment des émetteurs α en quantité importante ($> 3,7$ GBq/t ou 0,1 Ci/t en activité

α , et en moyenne excepté pour des radionucléides spécifiques, < 370 GBq/t ou 10 Ci/t en activité $\beta\gamma$).

Catégorie C :

Déchets de haute activité renfermant des quantités importantes de produits de fission, d'activation et d'actinides. Ils génèrent souvent une énergie thermique notable. Ce sont principalement les déchets vitrifiés. Le combustible irradié appelé à être non retraité peut être également considéré comme un déchet de haute activité.

Les déchets de catégorie A sont normalement stockés en site de surface (Centre de Stockage de la Manche, Centre de Stockage de l'Aube) ; les déchets de catégorie B et C sont placés en entreposage et relèvent de recherches que l'on doit conduire dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991.

Uranium appauvri :

produit résiduel après enrichissement de l'uranium naturel ; la teneur en ^{235}U est voisine de 0,2 %.

4.2 - Acronymes

- APM : Atelier Pilote de Marcoule : atelier qui a servi à l'expérimentation pour le retraitement des combustibles avant l'étape industrielle.
- CASCAD : CASemate CADarache : installation d'entreposage à sec de combustibles nucléaires irradiés à Cadarache.
- CCE : Commission des Communautés Européennes ; aujourd'hui on utilise le sigle U.E. (Union Européenne) pour désigner l'Europe formée par les 15 Etats membres.
- CEDRA : Centre d'Entreposage des Déchets RADioactifs : installation d'entreposage prévue à Cadarache pour l'ensemble des déchets du CEA destinés au stockage géologique. (à ne pas confondre avec NAGRA-CEDRA cf. cet acronyme)
- CRII-RAD : Commission de Recherche et d'Information Indépendante sur la RADioactivité. Son siège est à Valence - 26000 -Drôme - France.
- C.S.A. : Centre de Stockage de l'Aube recevant actuellement les déchets de catégorie A – centre de stockage de surface.
- C.S.M. : Centre de Stockage de la Manche : centre de stockage de surface des déchets radioactifs de faible activité. Actuellement fermé et géré par l'ANDRA.
- D.B.E. : Deutsche Gesellschaft zum Bau and Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (Société allemande pour la construction et l'exploitation de stockage définitif de déchets) -Allemagne.
- DSIN : Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires placée sous tutelle conjointe des Ministères de l'Industrie et de l'Environnement.
- ECN : Energieonderzoek Centrum Nederland (Centre Néerlandais de Recherche sur l'Energie) - Pays-Bas.
- E.I.P. : Entreposage Intérimaire Polyvalent : installation d'entreposage en cours de construction à Marcoule pour accueillir l'ensemble des déchets B du site (déjà conditionnés ou qui le seront après reprise et traitement ainsi que les déchets de démantèlement) destinés au stockage géologique . L'autorisation de construction pour les premières alvéoles a été donnée le 7 août 1997 et sa date de mise en service est prévue pour fin 1998, début 1999 ; cette installation prévoit la construction successive de 16 modules environ.
- ENRESA : Empresa Nacional de Residuos Radioactivos SA (Entreprise Nationale chargée des Déchets Radioactifs) - Espagne.
- FMA : Faible et Moyenne Activité : se dit des déchets radioactifs dont l'activité globale est généralement inférieure au térabecquerel (TBq - 10^{12} Bq = 1 curie) et renfermant une quantité significative de radionucléides à vie courte ou moyenne (≤ 30 ans - voir déchets A).

<u>GSIN</u> :	Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nucléaire. Son siège est Orsay - 91400-Essonne - France.
<u>ICPE</u> :	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement.
<u>M.A</u> :	Moyenne Activité : se dit des déchets renfermant majoritairement des radionucléides à vie courte ou moyenne (≤ 30 ans) ainsi que des radionucléides émetteurs alpha ou à vie longue (voir déchets B).
<u>METRO</u> :	Methods for Evaluation of Techniques for Retrievable disposal (Méthodes pour l'Evaluation des Techniques pour un stockage réversible). Programme d'étude de l'Union Européenne initié à partir de 1995. 7 pays européens participent à ce programme.
<u>MOX</u> :	Combustible à Oxydes Mixtes (uranium - plutonium).
<u>NAGRA-CEDRA</u> :	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle. (Coopérative nationale pour l'Entreposage des Déchets Radioactifs – CEDRA) - Suisse.
<u>NIREX</u> :	Nuclear Industry Radioactive Waste Executive. (Direction chargée des déchets radioactifs produits par l'industrie nucléaire) - Angleterre.
<u>ONDRAF</u> :	Organisme National des Déchets Radioactifs et des matières Fissiles - Belgique.
<u>PCRD</u> :	Programme Commun de Recherche et Développement : sigle utilisé pour désigner les programmes pluriannuels de l'Union Européenne. En matière d'Energie Nucléaire, le 5ème PCRD débute en 1998 jusqu'en 2002.
<u>POSIVA</u> :	Commission des Compagnies électriques finlandaises pour la gestion des déchets radioactifs. - Finlande.
<u>PUREX</u> :	Plutonium and Uranium Recovery by EXtraction (Récupération du plutonium et de l'uranium par extraction). Procédé de retraitement des combustibles irradiés par voie aqueuse. Procédé de référence du retraitement mis en œuvre en France.
<u>R7T7</u> :	Dénomination des verres nucléaires spécifiés fabriqués à La Hague dans l'atelier R7 (UP ₃) et dans l'atelier T7 (UP ₂ 800).
<u>REP</u> :	Réacteur à Eau sous Pression.
<u>SCK/CEN</u> :	Studie Centrum voor Kernergie - Centre d'étude de l'Energie Nucléaire à MOL - Belgique.
<u>SICTDMA</u> :	Syndicat Intercommunal de Collecte et de Traitement des Déchets Ménagers et Autres de la région saumuroise, (SAUMUR – France).

- SKB : Svensk Kärnbränslehantering AB (Société Suédoise de Gestion du Combustible et des Déchets Nucléaires) – Suède.
- UOX : Dénomination du combustible à base d'Oxyde d'Uranium.
- UP₁ : Unité de Production n° 1 : il s'agit de l'usine de retraitement de Marcoule mise en service en 1958 et fermée en 1997.
- UP₂ 400 : Usine de Production n° 2 de 400 tonnes/an de capacité : il s'agit de la première usine de retraitement de La Hague qui a fonctionné jusqu'en 1990 et qui après rénovation et agrandissement a donné lieu à UP₂ 800 (tonnes) qui a été mise en service en 1995.
- UP₃ : Unité de Production n° 3 : il s'agit de l'usine de retraitement de La Hague destinée aux combustibles étrangers qui a été mise en service en 1989 ; elle a une capacité de 800 tonnes/an.
- URE : Dénomination du combustible à base d'uranium de retraitement (URT) et qui a été réenrichi à 3,7 % en uranium 235.
- URT : Uranium de retraitement (uranium avec un enrichissement résiduel inférieur à 1 %).

4.3 – Terminologie

- ASPÖ : Site dans le granit (Suède) où est implanté le laboratoire souterrain pour les expérimentations sur le stockage profond des déchets de haute activité.
- CIGAR LAKE : Mine d'uranium du Nord du Canada (SASKATCHEWAN) dont la teneur en uranium du minerai est en moyenne très élevée (10-12 %) et peut atteindre des teneurs encore plus élevées (40 %) ; en raison de l'irradiation, l'extraction ne peut que se faire qu'à distance hors de toute présence humaine.
- GORBELEN : Site dans le sel en Basse-Saxe (Allemagne) retenu pour le stockage des déchets de haute activité ; au site de stockage sont associés un entreposage de déchets (conditionnés et de combustibles usés) et une usine pour le conditionnement de combustibles usés d'une capacité de 100 t/an.
- KARUWEEG : Laboratoire chargé des recherches sur les déchets au sein de l'ECN - Pays-Bas.
- LOVE CANAL : Cité des Etats-Unis près des chutes du Niagara qui a été construite sur une décharge de déchets chimiques dont on avait malencontreusement oublié l'existence.
- MONTCHANIN : Cité française (Ain) où est localisée une grande décharge de déchets industriels de classe 1 qui a fait l'objet de plusieurs procédures et enquêtes suite à des dépôts de plaintes sur sa nuisance pour les habitants et pour l'environnement.
- RFS III.2f : Règle Fondamentale de Sécurité définissant les objectifs et critères de sécurité pour le stockage géologique publiée par la DSIN en juin 1991.
- STOCAMINE : Projet qui concerne un stockage de Déchets Industriels spéciaux dans les anciennes mines de potasse d'Alsace.
- STUDSVIK : Centre de traitement des déchets de faible et moyenne activité en Suède ; les cendres et déchets résultant des traitements sont entreposés dans un entreposage de subsurface (ouvrage à flanc de colline dans du granit).
- TURPIN : Commission présidée par Michel TURPIN, mise en place le 2 février 1996 pour donner un avis sur l'impact du Centre de Stockage de la Manche, sur l'environnement et les dispositions prévues par l'ANDRA afin d'assurer la surveillance du site. Cette commission a rendu son rapport le 16 juillet 1996.
- WELLENBERG : Site retenu par la CEDRA/NAGRA (Suisse) dans le canton de Nidwald pour le dépôt final des déchets de faible et moyenne activité. La roche hôte est une marne valanginienne. L'accès du dépôt est à flanc de montagne à environ 550 m d'altitude ; le sommet de la montagne se situe entre 1200 et 1300 m.
- WIPP : Waste Isolation Pilot Plant. Installation de confinement des déchets de type B* en stockage définitif dans le sel aux Etats-Unis – Nouveau Mexique - (installation destinée aux déchets

militaires renfermant des transuraniens). L'autorisation administrative d'exploitation du stockage a été donnée le 13 mai 1998.

YUCCA MOUNTAIN : Site prévu pour le stockage profond en formation géologique de tuffs volcaniques des combustibles usés civils aux Etats-Unis ; situé dans le Nevada, il est en attente d'une autorisation de mise en construction et en exploitation.