

**La gestion des déchets radioactifs
dans l'Union Européenne :
toujours plus, toujours pas de solution**

Hanovre, Octobre 2010

(Traduction française achevée en janvier 2011)

Avec le soutien du groupe des Verts/ALE au Parlement européen.



The Greens | European Free Alliance
in the European Parliament

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Commanditaire :

Rebecca Harms (MEP)

Les Verts/ALE au Parlement européen

Auteur :

Ing. grad. Dipl.-Phys. Wolfgang Neumann

intac – Beratung · Konzepte · Gutachten
zu Technik und Umwelt GmbH

Kleine Düwelstraße 21

30 171 Hannover

Tel.: 0511 / 85 30 55

Fax: 0511 / 85 30 62

e-mail: WNeumann@intac-hannover.de

Table des matières

1. INTRODUCTION	6
2. DECHETS NUCLEAIRES	7
2.1 Les déchets nucléaires, qu'est-ce que c'est ?	7
2.2 Où sont produits les déchets ?	8
2.2.1 Déchets produits par l'exploitation et le traitement de l'uranium	8
2.2.2 Déchets produits par le fonctionnement des réacteurs	10
2.2.3 Les déchets produits par le retraitement	11
2.2.4 Les déchets produits par le déclasserment	12
2.2.5 Les déchets produits par la gestion des déchets	12
2.3 Classification des déchets radioactifs	13
2.4 A quel point les déchets nucléaires sont-ils dangereux ?	14
2.4.1 Risques pour la santé	14
2.4.2 Autres risques	16
3. LES STRATEGIES DE GESTION DES DECHETS	16
3.1 La gestion des déchets de haute activité	18
3.1.1 La gestion des combustibles usés	18
3.1.2 Le stockage final définitif	22
3.1.3 Stockage final avec récupérabilité	24
3.1.4 Entreposage géologique durable sous contrôle	25
3.1.5 Entreposage à long terme	26
3.2 Gestion des déchets de faible et moyenne activité	27
3.2.1 Stockage final en formation géologique profonde	28

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

3.2.2	Stockage final à faible profondeur	28
3.3	La gestion des déchets de très faible activité	29
3.3.1	Libération	30
3.3.2	Stockage final avec exigences de sûreté limitées	30
3.4	Conclusions sur les stratégies de gestion	31
4.	LA GESTION DES DECHETS DANS L'UNION EUROPEENNE, EN FEDERATION DE RUSSIE ET AUX ETATS-UNIS	32
4.1	Situation et stratégies dans les Etats membres de l'Union Européenne	333
4.2	Stratégies en Fédération de Russie et aux Etats-Unis	85
5.	SYNTHESE	89

Abréviations

CI	Combustibles irradiés
FMA	Déchets de faible et moyenne activité
FMA-VC	Déchets de faible et moyenne activité à vie courte
FMA-VL	Déchets de faible et moyenne activité à vie longue
HA	Déchets de haute activité
Mg	Mégagramme, préc. t = Tonne
ML	Métal lourd, contenu en uranium ou uranium et plutonium du combustible
MOX	Combustible à oxyde mixte (uranium et plutonium)
TFA	Déchets de très faible activité

1. Introduction

Le Commissaire européen en charge de l'énergie, et donc des questions nucléaires, a annoncé pour l'automne 2010 une Proposition de Directive relative à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs dans l'Union Européenne. Comme base à la discussion sur cette proposition de directive, nous proposons dans cette étude une présentation des principales options de gestion des combustibles irradiés et des déchets radioactifs, compte tenu de l'état actuel des sciences et des techniques, ainsi que de la situation dans chacun des Etats membres de l'Union Européenne.

Dans le domaine de l'utilisation de l'énergie nucléaire, c'est de loin au niveau de la production d'électricité (parfois combinée à celle de chaleur) que sont produites les plus importantes quantités de déchets radioactifs. C'est aussi ce secteur qui est, de beaucoup, source de la plus grosse part de déchets nucléaires de la recherche et de l'industrie.

L'importance, en termes de quantité et d'activité, des déchets issus de la recherche ou d'autres domaines industriels de l'utilisation du nucléaire, ainsi que de ses applications médicales, est bien plus limitée; de plus, ces déchets ne contiennent pas de combustibles. Nous ne traiterons pas de ces déchets ici, en raison du manque d'informations d'une part, et d'autre part, d'un potentiel de risque globalement moins élevé. Nous tenons toutefois à préciser qu'il existe, dans de nombreux champs d'applications médicales et industrielles, des méthodes qui évitent le recours à des substances radioactives et dont l'utilisation à l'échelle européenne pourrait permettre à ces secteurs de réduire considérablement leur production de déchets radioactifs. De même, les déchets radioactifs sous-produits de l'exploitation des ressources (comme le pétrole ou le gaz par exemple) ne seront pas abordés.

L'objectif de la présente étude est de servir de base à une présentation en ligne accessible à tous, s'adressant aux profanes comme aux professionnels. C'est pourquoi, nous n'avons pas adopté le style de l'expertise.

On trouvera tout d'abord au chapitre 2 une présentation générale des déchets radioactifs, au chapitre 3 une description des options de gestion, et enfin au chapitre 4, un panorama de la situation dans chacun des Etats membres de l'Union Européenne exploitant l'énergie nucléaire, ainsi qu'en Fédération de Russie et aux

USA, en raison de l'importance particulière de ces deux pays. Le chapitre 5 sera consacré à l'évaluation de la situation globale dans l'Union Européenne.

2. Déchets nucléaires

2.1 Les déchets nucléaires, qu'est-ce que c'est ?

L'utilisation de l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité, ainsi que de la chaleur, ne se limite pas à l'exploitation de réacteurs nucléaires, mais aussi à celle d'un nombre important d'installations supplémentaires, engendrant la production de quantités importantes de déchets nucléaires.

Ces déchets nucléaires sont radioactifs, ce qui signifie qu'ils renferment des noyaux atomiques qui, après un certain temps, se transforment sans aucune influence extérieure (désintégration) en d'autres noyaux atomiques. Au cours de cette désintégration, les déchets nucléaires émettent des radiations ionisantes. C'est ce qu'on appelle les rayonnements alpha, bêta, gamma et neutroniques, qui produisent des dommages dans la matière qu'ils traversent.

Les déchets renferment une quantité très importante de noyaux atomiques. Plusieurs milliards de désintégrations par seconde peuvent se produire dans un colis de déchets. Le nombre de désintégrations par seconde est exprimé en Becquerel (Bq). Le nombre de désintégrations se produisant dans un déchet donné, à un moment précis, dépend des types d'éléments chimiques auxquels appartiennent ces noyaux atomiques radioactifs (appelés radionucléides), de la quantité de chacun des types de radionucléides présents au départ dans les déchets (inventaire radioactif) et du temps écoulé.

Les radionucléides présents dans les déchets ont des demie-vies (appelées périodes) différentes, ce qui veut dire que le temps nécessaire pour que la moitié des noyaux atomiques radioactifs présents au départ disparaissent par décroissance dépend du type de radionucléides. Il en est de même pour la période nécessaire pour que la radioactivité des déchets atteigne un niveau dont l'impact nocif sera nettement réduit. La demie-vie des différents types de radionucléides va de la fraction de seconde à des millions d'années.

Au delà du risque radiologique, une partie des déchets contiennent aussi des substances chimiquement toxiques. Il faut en tenir compte, en particulier dans le contexte de la pollution des eaux de surface ou souterraines.

2.2 Où sont produits les déchets ?

La production de déchets nucléaires de la filière électronucléaire peut être répartie en cinq domaines principaux :

- l'extraction et le traitement de l'uranium,
- le fonctionnement des centrales,
- le retraitement,
- le déclasserment des installations nucléaires,
- la gestion des déchets radioactifs.

2.2.1 Déchets produits par l'exploitation et le traitement de l'uranium

Aujourd'hui, l'utilisation de l'énergie nucléaire se fonde sur la fission de noyaux particuliers d'uranium, une matière radioactive présente naturellement dans la croûte terrestre. Dans certaines régions du monde, sa présence est très concentrée; il y est extrait comme minerai dans des mines, puis transformé en oxyde d'uranium (yellow cake). Les résidus de l'extraction et les boues provenant du traitement du minerai sont les premiers types de déchets nucléaires.

L'uranium résiduel présent dans les résidus et les boues, ainsi que les autres substances et gaz libérés par l'exploitation minière sont plus dangereux pour l'homme que si ils étaient restés enfermés dans l'écorce terrestre. La concentration de radionucléides dans ces déchets est certes relativement faible, mais avec les énormes quantités - plusieurs centaines de milliers de tonnes (ou mégagrammes) - générées à un endroit donné, l'inventaire radioactif rendu accessible est de fait élevé. Les résidus s'entassent pour former d'énormes collines en surface. La poussière, provenant de la gestion des résidus ou de l'érosion des dépôts, est inhalée par les humains. Les boues sont pompées vers d'immenses bassins où elles sont stockées de façon permanente. De là, l'uranium peut atteindre la nappe phréatique. Ce problème des millions de tonnes de déchets radioactifs ne touche pratiquement plus

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

l'Union Européenne depuis assez longtemps, puisque, à l'exception de petites quantités provenant de République Tchèque ou de Roumanie, l'uranium est aujourd'hui exploité dans des pays lointains. Dans certains Etats membres de l'Union Européenne, il y a eu une exploitation de l'uranium relativement limitée, et largement réduite depuis. En France, par exemple, l'exploitation de l'uranium concernaient de nombreuses petites mines. La réhabilitation fait actuellement l'objet de consultations et de discussions conceptuelles. L'ex-RDA a produit d'importantes quantités d'uranium. L'héritage y a été assaini. Les populations doivent vivre à long terme avec une radioactivité ambiante renforcée.

A partir de cet oxyde d'uranium, on fabrique par étapes successives (conversion, enrichissement, calcination) dans différentes installations, le combustible qui sera utilisé dans les réacteurs. Certains Etats membre de l'Union Européenne disposent d'une ou de plusieurs de ces usines : Belgique, France, Grande-Bretagne, Allemagne, Pays-Bas, Roumanie, Suède et Espagne. Dans chacune de ces usines sont produits des déchets uranifères.

Dans l'Union Européenne, les usines d'uranium particulièrement dignes d'intérêt, en termes de quantité de déchets radioactifs et de potentiel de risque, sont les usines d'enrichissement de Capenhurst (GB), Almelo (Pays-Bas), Gronau (Allemagne) et Tricastin (France). En plus de l'uranium enrichi qui sera utilisé, elles produisent de grandes quantités d'uranium appauvri. Celui-ci est stocké sous forme d'hexafluoride d'uranium (UF_6) qui, en plus d'être radioactif, est également toxique. De par ses propriétés, un relâchement d' UF_6 pourrait avoir des conséquences catastrophiques.

Aux conditions économiques actuelles dans les pays occidentaux, l' UF_6 appauvri ne peut être réutilisé et devrait être déclaré comme déchet. Par le passé, la solution est passée pour les exploitants français, allemands et néerlandais, par l'envoi de l' UF_6 appauvri en Russie (bien plus de 10.000 tU par an), où il était réenrichi sans considération pour les coûts réels. Une petite partie de l'uranium livré a été retournée aux expéditeurs européens sous forme d'uranium réenrichi, mais la majeure partie - de l'uranium encore plus appauvri - se trouvent toujours en Russie où elle est entreposée à l'air libre pour une durée indéterminée : on ne sait pas ce qu'il va en advenir à long terme. Les exploitants des pays de l'Union européenne en ont transféré la responsabilité aux exploitants des usines russes.

Les contrats de réenrichissement sont arrivés à expiration, et les exploitants des usines d'enrichissement de l'Union Européenne doivent désormais conserver leur

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

uranium appauvri. Il est acheminé depuis Almelo et Gronau dans le sud de la France, où - à l'instar de l' UF_6 français - il est converti en oxyde d'uranium, une forme un peu moins dangereuse, puis renvoyé à l'expéditeur pour être entreposé. L'oxyde d'uranium français est transporté pour entreposage à Bessines (près de Limoges). L'uranium appauvri de Capenhurst est stocké sur place. Dans l'état actuel des choses, l'uranium appauvri doit à un moment donné être déclaré comme déchet. Aucun de ces quatre pays n'a présenté de stratégie pour sa gestion ultérieure. Il s'agirait de quelques centaines de milliers de tonnes de déchets.

2.2.2 Déchets produits par le fonctionnement des réacteurs

Lors de l'utilisation d'uranium comme combustible dans un réacteur de centrale nucléaire, se produisent par fission et capture de particules, différents processus de transformation nucléaire, au cours desquels sont produits les noyaux atomiques d'éléments chimiques spécifiques (les radionucléides), radioactifs.

Certains de ces radionucléides sont directement produits par la fission, ceux que l'on appelle les produits de fission. Il s'en forme en grande quantité dans le combustible. Après un certain temps d'utilisation en réacteur, et l'irradiation qui y est associée, les combustibles sont "usés", et lorsqu'ils ne sont pas retraités (voir paragraphe 2.2.3), ils doivent être traités comme des déchets radioactifs. Ce sont les déchets les plus dangereux issus de l'utilisation de l'énergie nucléaire.

Suite à la fission nucléaire et à l'irradiation engendrée, d'autres types de déchets sont produits dans les réacteurs, par contamination (contamination de liquides ou de surfaces par des substances radioactives) ou activation (transformation de noyaux atomiques à l'intérieur de matières solides), ainsi que par contamination lors des opérations de contrôle et de maintenance. Les déchets liquides sont par exemple des huiles, des boues, des concentrats d'évaporation (contamination de l'eau de refroidissement), des résines échangeuses d'ions (traitement du circuit de refroidissement) et des agents de filtration. On trouve parmi les déchets radioactifs solides produits des pièces métalliques, des matériaux de confinement, du papier, des matières synthétiques, des matières textiles, des outils, des gravats et des éléments de structure.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

La quantité de déchets produits dépend du type et de l'âge du réacteur. Dans les réacteurs allemands les plus récents, la production moyenne de déchets par réacteur et par an est d'environ 50 m³ de déchets conditionnés¹. En raison de la pression sur les coûts et des exigences de sûreté existantes, des procédés de conditionnement relativement efficaces ont été mis en œuvre. Ce n'est pas le cas dans de nombreux pays, et dans d'autres Etats membres de l'Union Européenne le volume des déchets nucléaires est parfois bien supérieur. En France, par exemple, ils atteignent 78 m³, et plus encore dans d'autres pays.

On ne compte pas dans ces volumes les déchets produits par de gros travaux de réparation ou de maintenance.

2.2.3 Les déchets produits par le retraitement

Dans quelques Etats membres de l'Union Européenne, la stratégie de gestion des déchets comporte, ou a comporté, ce que l'on appelle le retraitement des combustibles irradiés (voir chapitre 3). Au cours de ces opérations, les combustibles irradiés sont découpés, cisailés, et dissouts dans l'acide. L'uranium et le plutonium produit en réacteur sont extraits de ces solutions et stockés en vue d'une réutilisation, hypothétique ou réelle.

La solution contient toujours des produits de fission radioactifs produits par la fission nucléaire dans le réacteur, et des radionucléides à vie très longue (comme le curium ou le neptunium) produits par capture de particules, mais aussi des restes d'uranium et de plutonium. Il s'agit des déchets de haute activité (HA). Dans un four de fusion, ils sont mélangés avec d'autres composants à du verre en fusion, puis coulés dans des futs en acier. Ces futs de déchets vitrifiés de haute activité sont ensuite entreposés sur le site de l'usine de retraitement ou un hall d'entreposage de l'exploitant des réacteurs d'où provient le combustible. Le potentiel de risque des futs de déchets de haute activité est comparable à celui des combustibles irradiés.

En plus de ces déchets de haute activité, il y a aussi les déchets constitués par les coques et embouts des combustibles, boues, résidus issus du traitement des effluents ou des équipements, les déchets technologiques et les déchets de structure contaminés tels que les tuyauteries des circuits.

¹ M. Volkmer: "Kernenergie Basiswissen"; Brochure de l' "Informationskreis KernEnergie", juin 2007

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Les déchets produits sont soumis à différents procédés de conditionnement sur le site des installations de retraitement, puis entreposés. A l'issue d'une certaine période d'entreposage, les déchets provenant du retraitement de combustibles de centrales étrangères sont renvoyés, soit conditionnés, soit en quantité équivalente de déchets de haute activité, vers leurs pays d'origine respectifs où ils seront entreposés.

Les pays de l'Union exploitant aujourd'hui des installations de retraitement sont la France (La Hague) et la Grande-Bretagne (Sellafield).

2.2.4 Les déchets produits par le déclassé

Toutes les installations nucléaires, depuis l'usine de traitement de l'uranium jusqu'à celles de retraitement des combustibles irradiés, de conditionnement et de stockage, en passant par les réacteurs, doivent être déclassées à l'issue d'une certaine durée de fonctionnement. Selon la norme internationale cela comporte la démolition rapide (c'est-à-dire environ 15 ans pour les réacteurs nucléaires) des installations. Toutefois, dans quelques pays les réacteurs sont d'abord mis sous cocon pour une période de 30 à 60 ans, et ne seront démantelés qu'après une décroissance partielle de la radioactivité des matières présentes dans et autour des installations et structures de construction.

Le démantèlement des installations nucléaires produit d'importantes quantités de déchets radioactifs. Pour un réacteur, ce sont environ 6.000 tonnes de déchets radioactifs sur un total de quelques 500.000 tonnes de déchets. Les déchets radioactifs sont principalement composés de gravats et de déchets métalliques.

2.2.5 Les déchets produits par la gestion des déchets

Les déchets radioactifs produits lors de l'exploitation et du démantèlement des installations nucléaires doivent être conditionnés, entreposés puis stockés. Les installations construites à cet effet sont elles aussi productrices de déchets. Au niveau des installations d'entreposage temporaire et de stockage définitif, en fonctionnement réglementaire ne devraient se produire que de faibles contaminations et pas d'activation. Elles sont plus élevées dans les usines de traitement et de conditionnement des déchets radioactifs. Certaines parties des installations sont elles aussi contaminées et devront, à leur tour, être traitées comme des déchets. Dans l'ensemble, la quantité de déchets produits dans ces installations

est limitée, comparée à l'extraction de l'uranium, l'exploitation des réacteurs et au retraitement.

2.3 Classification des déchets radioactifs

La classification des déchets radioactifs n'est pas identique dans les Etats membres de l'Union Européenne. Les critères utilisés sont par exemple la concentration de l'activité, la radioactivité totale d'un colis, l'origine ou le dégagement thermique des déchets. Dans un but d'harmonisation au sein de l'Union Européenne, la Commission européenne a publié une recommandation pour la classification des déchets radioactifs². Ce système n'a, pour l'instant, pas d'effet contraignant dans les Etats membres de l'Union Européenne. Cependant, il correspond globalement à la classification adoptée par plusieurs d'entre eux. Il répartit ainsi les déchets :

- ◆ "Déchets radioactifs transitoires" (TFA)
Type de déchets radioactifs dont le niveau d'activité passe par décroissance en dessous du seuil de libération, immédiatement après la production ou une certaine période d'entreposage. Ces déchets peuvent, en dépit d'un inventaire radioactif toujours existant, être utilisé dans le domaine conventionnel. On les appelle aussi les déchets de très faible activité. Entrent dans cette catégorie, par exemple, les gravats et les pièces de métal décontaminées issus du démantèlement, des déchets de fonctionnement d'installations nucléaires faiblement radioactifs, ainsi qu'une partie des déchets uranifères.
- ◆ "Déchets de faible et moyenne activité" (FMA / FA et MA)
Déchets dont le dégagement thermique produit par l'inventaire radioactif n'est pas critique pour l'entreposage. Les valeurs admissibles de puissance thermique sont fixées pour chaque site. Les déchets de faible et moyenne activité sont subdivisés comme suit :
 - "Déchets à vie courte"
Déchets dont la demie-vie des principaux radionucléides est inférieure à

² 99/669/CE, Euratom: Recommandation de la Commission, du 15 septembre 1999, relative à un système de classification des déchets radioactifs solides [SEC(1999) 1302 final] - *Journal officiel* n° L 265 du 13/10/1999

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

30 ans, avec une teneur limitée en émetteurs-alpha à vie longue (400 Bq/g pour la masse concernée de déchets).

- "Déchets à vie longue"

Tous les déchets qui ne sont pas classés à vie courte.

Les déchets mentionnés au chapitre 2.2 entrent dans la catégorie des déchets de faible et moyenne activité.

- ◆ "Déchets de haute activité" (HA)

Déchets dont l'inventaire radioactif est tel que l'énergie thermique dégagée doit être prise en compte pendant toute la période d'entreposage, et même après l'introduction en stockage final.

Les combustibles irradiés et les déchets vitrifiés entrent par exemple dans cette catégorie.

2.4 A quel point les déchets nucléaires sont-ils dangereux ?

2.4.1 Risques pour la santé

Les substances radioactives contenues dans les déchets nucléaires émettent, par désintégration, des radiations ionisantes. Ionisante signifie que lors de la pénétration dans la matière, la répartition de la charge électrique est modifiée. De tels changements de charge engendrent des réactions chimiques dans les tissus organiques qui modifient ou tuent les cellules. La probabilité d'apparition de dommages dépassant la capacité de réparation de l'organisme humain augmente avec le nombre de ces événements.

Les conséquences les plus graves sont les cancers ou les modifications génétiques qui se manifestent à la génération suivante, ou plus lointaine, par des malformations chez les enfants. Mais les conséquences peuvent aussi être des atteintes du métabolisme ou une baisse du système immunitaire.

La probabilité de l'apparition d'une maladie dépend du niveau de radioactivité et de la durée d'exposition. Fondamentalement, tous les déchets, des moins radioactifs aux plus radioactifs, peuvent avoir des effets sur la santé. Mais la probabilité est plus élevée avec les déchets de haute activité.

La radioactivité peut devenir dangereuse pour l'homme de trois façons :

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- ◆ Par le séjour à proximité immédiate des déchets : le corps est soumis à un rayonnement direct (rayonnement gamma ou neutronique).
- ◆ Par le séjour dans ou à proximité d'installations où sont manipulés des déchets : des radionucléides provenant des déchets peuvent être incorporés directement par inhalation ou indirectement par ingestion d'aliments (suite par exemple au dépôt de radionucléides relâchés sur la végétation ou dans l'eau).
- ◆ Par contamination de la peau par contact avec les déchets ou les conteneurs.

Ces trois voies concernent le personnel des installations nucléaires, le public n'étant généralement pas concerné par la troisième.

Le rayonnement direct concerne les personnes qui habitent ou séjournent le long du parcours habituel de transports de déchets radioactifs, ou encore près de la clôture d'une installation nucléaire présentant un niveau élevé de radiation directe (débit de dose ambiant), par exemple entreposage des déchets de haute activité. L'ingestion de substances radioactives concerne surtout les riverains d'installations nucléaires où l'on manipule directement les déchets, comme les installations de retraitement ou de conditionnement.

En cas d'incident ou d'accident dans les installations, ou d'accident grave de transports, les risques d'effets sur la santé sont terriblement accrus si les déchets sont touchés. Le relâchement de radionucléides contenus dans les déchets peut prendre une dimension considérable. Ceci est particulièrement vrai dans le cas d'actions de sabotage ciblées.

Les risques pour la santé présentés ci-dessus portent sur l'ensemble de la période de manipulation des déchets, soit quelques dizaines d'années. Mais même alors qu'ils n'ont plus besoin d'être manipulés, une fois définitivement stockés, ces déchets demeurent une source de risques considérables. Même le stockage final en formation géologique profonde ne garantit pas, en raison de la demie-vie très longue de certains éléments, que les radionucléides restent isolés de la biosphère, et donc, à la longue, de l'homme.

Au cours de ces longues périodes de temps, se produisent dans un dépôt final des réactions qui favorisent un relâchement. Si la roche ou le milieu géologique ne se comporte pas dans l'ensemble comme prévu, les radionucléides peuvent se disperser dans la géosphère, et se retrouver, par exemple, par le biais de l'aquifère,

dans la biosphère. Ainsi, la radioactivité peut-elle contaminer les nappes peu profondes et les eaux de surface, et par conséquent l'eau de boisson.

2.4.2 Autres risques

Utilisation malveillante

Nous avons présenté ci-dessus les dangers pour l'homme dont les déchets sont directement la cause. Mais il peut aussi s'agir d'utilisation malveillante de ces déchets.

Les combustibles irradiés contiennent des matières fissiles, en particulier du plutonium. Après séparation, ces matières fissiles peuvent aussi servir à la fabrication de bombes.

Dans les discussions internationales, on s'intéresse en particulier dans le cadre de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) à la possibilité de voir des groupes terroristes utiliser des explosifs conventionnels pour permettre la dispersion et la contamination de substances radioactives (bombes sales). Ceci concerne également les déchets radioactifs.

Autres biens à protéger

Il n'y a pas que l'Homme à protéger des effets néfastes de la radioactivité, mais aussi l'environnement, c'est à dire la faune et la flore, l'eau, le sol et l'air.

Les animaux et les végétaux sont aussi des organismes vivants sur lesquels la radioactivité provoque des dommages. L'eau, le sol et l'air ne doivent pas être contaminés.

3. Les stratégies de gestion des déchets

L'utilisation de l'énergie nucléaire produit des déchets qui continuent à présenter un risque pour l'homme et l'environnement, même après plusieurs centaines de milliers d'années en raison de la présence d'éléments ayant une demie-vie très longue. Pour réduire ce risque, il existe deux principes fondamentaux de gestion des déchets radioactifs et de leur devenir : le principe de dilution et le principe de concentration.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Avec le **principe de dilution**, on recherche une dissolution et une dispersion des déchets, en fait de leur contenu radioactif, dans l'environnement (l'eau ou l'air par exemple), aussi poussées que possible afin de prévenir un impact non acceptable sur les biens à protéger. Au début de l'utilisation de l'énergie nucléaire, ce principe a été adopté par de nombreux Etats, et des déchets [solides] de faible et moyenne activité ont été immergés en mer. Cette pratique a été interdite en 1983 dans le cadre de la Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers (résultant de l'immersion des déchets) en raison d'une inquiétude croissante. A cette époque, on n'avait probablement pas procédé à l'immersion de déchets de haute activité.

Pour les déchets sous forme de gaz ou d'aérosols, ce principe de dilution est en partie appliqué depuis les débuts du nucléaire, et ce jusqu'à aujourd'hui. On utilise des filtres ou autres procédés pour retenir ces substances dans les installations et relâcher autant que possible uniquement les quantités de radionucléides respectant, grâce à la dilution dans l'air environnant, les valeurs légalement admissibles pour l'homme. Selon l'opinion dominante, il est improbable que leur impact puisse être à l'origine de maladies chez les riverains.

Au cours des dix ou quinze dernières années, dans certains Etats membres de l'Union Européenne, une nouvelle catégorie de déchets concernée par le principe de dilution a fait son apparition, les déchets de très faible activité. Ceux-ci sont, après des contrôles de radioactivité plus ou moins efficaces, soustraits au droit nucléaire, en vertu de l'hypothèse selon laquelle ils seront dilués via leur introduction dans le circuit conventionnel, et n'auront ainsi aucun impact néfaste sur l'homme et l'environnement.

Le **principe de concentration** implique que les déchets, c'est-à-dire les substances radioactives qu'ils contiennent, seront concentrés et isolés de l'environnement. C'est le principe appliqué dans le monde entier aujourd'hui à de nombreux déchets solides et liquides de faible, moyenne et haute activité, ainsi qu'à une partie des déchets sous forme d'aérosols et de gaz.

Nous décrirons brièvement ici les stratégies de base de gestion des déchets, avec quelques informations sur leurs variantes, en précisant les avantages et les inconvénients de chacune.

3.1 La gestion des déchets de haute activité

A l'heure actuelle, nulle part au monde n'a été mise en œuvre de stratégie couvrant l'ensemble de la gestion des déchets de haute activité. Dans les Etats membres de l'Union Européenne exploitant le nucléaire, différentes options de gestion des déchets sont actuellement envisagées ou développées, et dans quelques-uns, la mise en œuvre des concepts déjà développés a commencé. Trois caractéristiques principales les différencient :

- ◆ La dissolution des combustibles ou leur maintien en l'état;
- ◆ Le stockage en formation géologique profonde ou le stockage en surface;
- ◆ Le stockage définitif, ou l'entreposage en attendant la recherche et le développement de nouvelles options de gestion.

3.1.1 La gestion des combustibles usés

Pour ce qui concerne les combustibles usés, il existe essentiellement deux voies : soit on les conserve globalement intacts soit on les découpe, et en sépare partiellement les différents types de radionucléides.

Le stockage direct

Le concept de stockage final des combustibles en l'état s'appelle aussi le stockage direct. Les combustibles usés sont dans un premier temps entreposés de façon temporaire. Cet entreposage se fait soit en piscine (dans l'eau), soit à sec (en atmosphère gazeuse). Les combustibles seront conditionnés en fonction des exigences de sûreté relatives au stockage final, une fois que celles-ci seront connues. Généralement, leur conditionnement surviendra à échéance plus ou moins courte avant leur placement dans un site de stockage définitif. L'ampleur des mesures de conditionnement dépendra des exigences qui s'exerceront au niveau du stockage final. Dans le cas le plus simple, il pourrait simplement s'agir du transvasement dans un conteneur présentant une meilleure tenue dans le temps.

Avantages :

- On n'a pas besoin de grosses usines chimiques servant à séparer les combustibles irradiés, et dont l'exploitation est associée au rejet de produits radioactifs dans l'eau et l'atmosphère, ainsi qu'à un risque élevé d'accident.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- On ne crée pas de flux supplémentaires de déchets radioactifs.
- Les éléments combustibles restent enfermés dans la matrice, et le niveau élevé de radioactivité à long terme rend plus difficile leur accès pour une utilisation malveillante.
- Le nombre de transports est réduit.

Inconvénients :

- L'ensemble des radionucléides à vie longue se retrouve dans les déchets, et il faudra faire la démonstration de la sûreté à long terme du site de stockage définitif en formation géologique pour au moins un million d'années.

Le retraitement

On désigne par retraitement l'option qui consiste à séparer uranium et plutonium des combustibles usés. Son nom est assez explicite quant à son objectif : la mise à disposition de matières combustibles en vue d'une réutilisation. Il s'agit d'un processus techniquement compliqué et chimiquement complexe.

Les combustibles déchargés des réacteurs sont, en général, placés dans des piscines pendant une période donnée. Lorsque l'inventaire radioactif de radionucléides particuliers a atteint les valeurs appropriées au retraitement, les combustibles sont transportés dans l'usine où ils sont découpés, et les crayons de combustible cisailés et dissouts dans l'acide. L'uranium et le plutonium sont alors retirés ensemble de cette solution.

Ils sont ensuite séparés l'un de l'autre, puis traités. L'uranium sous forme d'oxyde devait être mélangé au plutonium et utilisé pour la fabrication de nouveaux éléments (MOX ou combustible oxyde mixte). En réalité, il est utilisé par ailleurs ou entreposé. Il n'est pas certain aujourd'hui que l'on puisse effectivement réutiliser la totalité de l'uranium de retraitement. Le plutonium est utilisé pour la fabrication de nouveaux éléments qui sont chargés dans les réacteurs à eau légère. Le retraitement d'autant de MOX qu'on le souhaite et autant de fois qu'on le souhaite, n'a pas été éprouvé à grande échelle. Mais il faut partir du principe que l'on sera contraint de stocker des combustibles MOX irradiés.

On trouvera au chapitre 2.2.3 une description des déchets issus du retraitement.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Avantages :

- Les radionucléides d'uranium et de plutonium, importants du point de vue de la sûreté à long terme du stockage géologique, sont en grande partie retirés. Il reste toutefois des radionucléides à vie longue.

Inconvénients :

- L'exposition des travailleurs nucléaires et de la population est globalement nettement plus élevée que dans le cas du stockage direct.
- Les combustibles irradiés et les radionucléides produits dans les réacteurs devront aussi, après séparation, être entreposés en solution sur des périodes non-négligeables. En cas d'incident ou d'accident, on peut assister à un relâchement massif direct de substances radioactives, avec des conséquences qui pourraient être plus importantes que celles de la catastrophe de Tchernobyl.
- Ce procédé engendre une multitude de flux de déchets qui nécessiteront des opérations coûteuses de traitement dans différentes installations, d'entreposage puis de stockage.
- Le volume de déchets est globalement plus important.
- Le nombre d'opérations et de transports est plusieurs fois plus élevé que dans le cas d'un système de stockage direct des combustibles irradiés. Le risque d'incidents et d'accidents en est augmenté.
- Même si la récupération partielle de plutonium et d'uranium permet d'alléger l'argumentaire de sûreté à très long terme, celui-ci doit tout de même être apporté pour une durée d'un million d'années en raison de la présence d'autres radioéléments à vie longue.
- Séparé, le plutonium est en particulier d'accès bien plus aisé et d'utilisation plus rapide comme explosif nucléaire.
- L'utilisation de combustibles MOX entraîne globalement une réduction de la marge de sûreté dans l'exploitation du réacteur concerné.

Séparation – transmutation

La séparation-transmutation est un concept de gestion des déchets dont le fonctionnement reste théorique dans un avenir proche. Il n'en est qu'au stade du

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

développement, et dans l'Union Européenne il est financé quasiment exclusivement sur fonds publics. L'objectif est de séparer les radionucléides à vie longue des combustibles irradiés, et de les transformer en noyaux atomiques stables ou en éléments à vie courte. Les exigences de sûreté en ce qui concerne l'argumentaire de sûreté à long terme pour le stockage final peuvent ainsi être allégées.

Le préalable à la transmutation est l'isolement parfait des radionucléides à transmuter. Dans le concept de séparation-transmutation, il faut, comme pour le retraitement, d'abord découper et cisailier les éléments de combustible avant de dissoudre les matières combustibles irradiées. C'est en plusieurs étapes et par différents procédés que sont séparés les radionucléides à vie longue, à commencer par le plutonium et l'uranium (ensemble), puis un par un les radionucléides suivants. Dans l'état actuel des connaissances, on ne sait pas si l'on pourra atteindre pour l'ensemble des radionucléides concernés un degré de séparation permettant d'alléger durablement la démonstration de la sûreté à long terme.

Ensuite, il faut fabriquer avec les radionucléides séparés, des combustibles ou des cibles qui sont chargés en réacteur ou dans un accélérateur en vue de la transmutation. Celle-ci se produit par fission atomique ou transformation par bombardement neutronique. Il existe trois technologies de transmutation, dont aucune, dans l'état actuel de la science et de la technique, ne permet à elle seule de transmuter l'ensemble des radionucléides concernés.

On peut pratiquer la transmutation dans des réacteurs à eau légère ou des surgénérateurs dans des assemblages critiques, ou des réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateur. Le recours à la technologie en réacteur à eau légère nécessite une modification du mode d'exploitation actuel, pour lequel il reste des problèmes techniques de sûreté à résoudre. Dans tous les cas, cela nécessiterait un recyclage multiple (séparation, production des cibles, réutilisation) des cibles de radionucléides. La technologie en surgénérateur requiert quant à elle la poursuite du développement de la filière surgénératrice - dont le fonctionnement n'est, à l'heure actuelle, pas vraiment satisfaisant. De plus, là encore, le recyclage serait nécessaire. L'application du concept en surgénérateur n'en est qu'à ses débuts. De même, la technologie du pilotage par accélérateur en est encore à un stade relativement précoce de développement. Il reste de nombreuses questions de sûreté à régler. Le recyclage est dans ce cas là aussi incontournable.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Dans l'état actuel du développement, il faudrait avoir recours conjointement à deux de ces technologies au minimum. Pour aucune de ces trois technologies, on ne sait avec certitude si l'on pourra atteindre un taux de transmutation suffisamment élevé permettant d'alléger de façon durable la démonstration de la sûreté à long terme.

L'option séparation-transmutation n'est envisageable que de façon centralisée, ce qui veut dire à l'échelle de l'Union Européenne avec de grosses usines de séparation et des réacteurs de transmutation centralisés.

Avantages

- Sous réserve que l'on parvienne à atteindre un niveau suffisant de séparation des radionucléides importants du point de vue du stockage final et de transmutation des radionucléides séparés, la démonstration de la sûreté à long terme pour le stockage final peut être réduite à quelques milliers d'années.
- On peut éventuellement trouver une utilisation à certains des radionucléides séparés.

Inconvénients

- L'ensemble des inconvénients mentionnés pour le retraitement s'applique de manière accrue à la séparation-transmutation.
- Les investissements de recherche et développement nécessaires se chiffrent à des dizaines de milliards d'Euros.
- La mise en œuvre massive de l'option séparation-transmutation prendrait des décennies, sans pour autant pouvoir servir à l'ensemble des déchets de haute activité. Il faudra en particulier trouver un mode de gestion définitif pour les déchets de haute activité déjà produits par le retraitement.

3.1.2 Le stockage final définitif

Le qualificatif "définitif" se réfère à l'intention de placer le site de stockage dans un état de sûreté passif par remblayage, aussi vite que possible après mise en place des déchets (principalement combustibles irradiés et/ou déchets vitrifiés). Après le remblayage, on ne prévoit ni surveillance ni contrôle. On ne vise pas non plus la récupérabilité.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Le stockage final doit se faire en formation géologique profonde. Le concept prévoit le stockage dans des mines, mais, en principe on peut aussi utiliser des cavités ou des puits profonds.

La protection des hommes et de l'environnement doit être assurée par des barrières géologiques (roche hôte et milieu géologique environnant), accompagnées de barrières géotechniques supplémentaires (matériaux de remblayage, scellement) et techniques (matrice des déchets, conteneurs). La part respective de protection de chaque barrière dépend de la roche hôte. Par exemple, dans les roches dures les barrières techniques jouent un rôle fondamental, alors que dans le sel, la protection doit principalement être assurée par la barrière géologique.

Avantages

- Il est possible (avec quelques incertitudes) de faire une prévision à long terme de l'évolution de l'environnement (géologie) des déchets.
- L'isolement des déchets, de l'homme et de l'environnement, est supposé être assuré après le scellement du dépôt par un système passif de barrières. Aucun dispositif technique actif de sûreté n'est requis.
- Les barrières géologiques doivent aussi garantir la sûreté du stockage final au cas où toutes ou partie des connaissances liées au site seraient perdues. Cela suppose le choix d'un site approprié.
- La probabilité d'accident et l'exposition radiologique due à l'exploitation sont limitées à la phase de mise en place des déchets.
- Les effets d'éventuels événements externes (séisme, conditions climatiques ou attaque terroriste par exemple) sont limités.
- Ce n'est pas aux générations futures qu'incombera la charge de la gestion des déchets et de son financement (principe du pollueur-payeur), pour autant que les prévisions sur la tenue à long terme soient avérées.
- Les barrières géologiques et le scellement du dépôt rendent difficile l'accès aux matières radioactives pour une utilisation malveillante.

Inconvénients

- L'efficacité à long terme des barrières ne peut être justifiée avec certitudes pour les longues périodes de temps nécessaires (un million d'années).
- La marge de manœuvre des générations futures pour une gestion aussi sûre que possible sera limitée par l'état actuel de la science et de la technique.

3.1.3 Stockage final avec récupérabilité

Les déchets radioactifs sont placés dans des galeries en formations géologiques profondes. Le site est ensuite fermé de façon à pouvoir reprendre les déchets de façon relativement aisée, par exemple en cas de comportement imprévu de l'ensemble. La récupérabilité est prévue pour une durée donnée qui dépend du dimensionnement concret du concept. Le comportement du système déchets-barrières sera surveillé pendant cette période. Ensuite, le dépôt sera fermé conformément à l'état de la science et de la technique du moment.

On peut supposer qu'à un horizon plus ou moins prévisible (quelques dizaines à quelques centaines d'années) on possédera des connaissances supplémentaires sur le comportement du système déchets-barrières, ou qu'une autre approche de la gestion aura été développée, en vue de réduire le potentiel de dangers des déchets nucléaires. La possibilité d'une utilisation ultérieure des déchets sert parfois à justifier la récupérabilité.

Avantages

- Il est possible d'intervenir à tout moment, en cas d'apparition d'évolutions préjudiciables au niveau de la tenue géologique, sur les déchets, ou sur l'interaction entre les deux (par exemple effet de la chaleur dégagée par les déchets).
- L'impact d'éventuelles influences externes (par exemple séisme, conditions climatiques) est limité.
- On laisse aux générations suivantes la possibilité de décider du devenir des déchets.

Inconvénients

- Garder le dépôt ouvert et les déchets accessibles peut avoir des effets négatifs sur la tenue du système (stabilité des barrières techniques par exemple).
- Ce n'est qu'à un horizon lointain que l'on peut envisager que le système présente un comportement géologique imprévu. L'efficacité à long terme des barrières ne peut être garantie avec certitude pour la durée nécessaire (un million d'années) même si le dépôt est resté ouvert pendant quelques centaines d'années.
- Le choix de la roche hôte est éventuellement restreint, car l'option d'ouverture à long terme nécessiterait un effort important dans le cas de géologie en fort mouvement.
- Les barrières géologiques ou géotechniques n'empêchent pas l'accès aux matières radioactives en vue d'une utilisation malveillante.
- Les générations futures auront la charge de la gestion des déchets radioactifs et des moyens financiers nécessaires.
- Les évolutions sociales sont difficilement prévisibles pour la période pendant laquelle le dépôt est maintenu ouvert, soit quelques centaines d'années.

3.1.4 Entreposage géologique durable sous contrôle

Les déchets radioactifs sont stockés dans des galeries en formation géologique profonde. Le dépôt est composé d'un dépôt test, d'un dépôt pilote et d'un dépôt principal. Dans une approche par étape, la réalisation du dépôt test représentera la première partie de l'installation complète. Cela permettra de mener les recherches spécifiques au site en vue de la qualification en sûreté du dépôt principal.

Le dépôt pilote recevra une petite partie représentative de l'inventaire prévu. Les barrières techniques et géotechniques seront surveillées pendant la phase d'exploitation du stockage principal. Les hypothèses de modélisation de l'argumentaire de sûreté à long terme seront validées par des études appropriées. Au-delà, ces informations constitueront le fondement des décisions devant être prises périodiquement : fermeture définitive ou prolongation la période d'observation, contrôle des barrières technologiques du dépôt principal ou reprise des déchets.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Après le placement dans le dépôt pilote, le dépôt principal recevra la majeure partie des déchets radioactifs. Il sera rempli et scellé zone par zone, une fois les déchets en place. Ces actions seront réalisées de façon à ce que la reprise des déchets soit relativement simple d'un point de vue technique. Les galeries d'accès et de service resteront ouvertes. Toutes ces mesures ne doivent pas porter atteinte à la sûreté passive des barrières.

Pour l'exploitation du dépôt pilote, on parle d'une période d'une centaine d'années. Il ne doit pas y avoir de surveillance après le scellement du dépôt. A l'inverse de la récupérabilité, il s'agit ici de réversibilité du stockage final.

Avantages

- L'approche par pallier améliore la fiabilité de la démonstration de sûreté pour la période initiale du stockage final (quelques siècles).
- L'impact de facteurs externes potentiels est limité.
- On laisse aux générations à venir la possibilité de décider du devenir des déchets.

Inconvénients

- Garder le dépôt ouvert et les déchets accessibles peut avoir des effets négatifs sur la tenue du système (stabilité des barrières techniques par exemple).
- Ce n'est qu'à un horizon lointain que l'on peut envisager que le système présente un comportement géologique imprévu. L'efficacité à long terme des barrières ne peut être garantie avec certitude pour la durée nécessaire (un million d'années) même après avoir gardé le dépôt ouvert pendant quelques centaines d'années.
- Les évolutions sociales sont difficilement prévisibles pour la période pendant laquelle le dépôt est maintenu ouvert, soit quelques centaines d'années.

3.1.5 Entreposage à long terme

L'entreposage à long terme doit se poursuivre jusqu'à quelques centaines d'années dans une construction en surface ou à faible profondeur. Il peut éventuellement s'agir d'une mine existante. Cet entreposage des déchets radioactifs doit se poursuivre jusqu'à ce qu'il soit possible de prendre une décision sur leur gestion définitive ou

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

leur devenir sur une base plus sûre. Le site est surveillé et si besoin, des réparations sont réalisées.

Avantages

- Il sera possible de mettre en œuvre sans problèmes, lorsqu'elles auront été développées, des options de gestion plus sûres que celles d'aujourd'hui.
- Les générations futures conservent une marge de manœuvre totale.

Inconvénients

- On ne peut prédire que l'on trouvera de meilleures options de gestion, ni le temps que leur développement prendra.
- L'évolution des conditions sociétales est nettement plus difficile à prévoir que les évolutions géologiques.
- Le potentiel de dangers des déchets est plus facilement accessible et libérable lors d'agressions externes.
- Une surveillance continue des déchets, et, à intervalles plus espacés, des interventions de réparation et de reconditionnement - nécessaires dans l'état actuel des techniques - entraînent un accroissement du risque d'incident et une augmentation de l'exposition radiologique des travailleurs et des populations.
- L'accès aux déchets en vue d'une utilisation malveillante est relativement simple.
- Les générations futures auront la charge de la gestion des déchets radioactifs et des moyens financiers nécessaires.

3.2 Gestion des déchets de faible et moyenne activité

Les déchets de faible et moyenne activité sont entreposés temporairement après production. Avant un entreposage ultérieur ou leur transfert vers un stockage final existant, ils sont traités et conditionnés afin de réduire leur potentiel de danger. A titre d'exemple, les déchets liquides sont solidifiés, les déchets combustibles, liquides et solides sont incinérés.

Leur stockage final se fait soit en formation géologique profonde soit à faible profondeur dans des tumuli ou monolithes recouverts de terre. Le choix de l'une ou l'autre de ces options dépend en grande partie de la demie-vie de l'inventaire radioactif autorisé. Pour le stockage à faible profondeur, le contenu en radionucléides dont la demie-vie est supérieure à 30 ans est plus strictement limité. En raison d'inventaires de radionucléides différents, différentes exigences de sûreté doivent être respectées (par exemple, sûreté à long terme). Une comparaison directe de ces deux options ne peut donc être établie, et ne présenterait qu'un intérêt limité. Il convient de prendre en compte l'ensemble des déchets de faible et moyenne activité.

3.2.1 Stockage final en formation géologique profonde

Le stockage final des déchets conditionnés se fait en règle général dans une mine. Les espaces entre les colis sont comblés; le dépôt est scellé une fois atteinte la capacité de stockage prévue. Il n'est pas prévu de surveillance après fermeture.

Des déchets dont l'inventaire radioactif a une demie-vie plus courte sont également placés en stockage géologique.

Avantages

- La distance qui sépare les déchets stockés et l'environnement (surface) est très importante.
- Tous les déchets de faible et moyenne activité peuvent y être stockés.
- Un accès ultérieur aux déchets demande un effort important.

Inconvénients

- La performance durable des barrières pendant toute la longue période nécessaire (un million d'années) ne peut pas être garantie avec certitude.

3.2.2 Stockage final à faible profondeur

La technologie du stockage final à faible profondeur est utilisée depuis de nombreuses années. Au fil du temps, sur la base d'expériences négatives (comme sur le site de stockage de la Manche, en France, aujourd'hui fermé), les exigences techniques de sûreté ont du être renforcées. Dans les sites modernes, les déchets

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

solides doivent être conditionnés et placés dans des conteneurs. Les exigences techniques de sûreté relatives au conditionnement des déchets sont généralement moins strictes que pour le stockage géologique profond, dans la mesure où il s'agit, pour la plupart, d'inventaires radioactifs dont les demie-vies sont plus courtes. Les conteneurs sont empilés dans des monolithes en béton, couverts pendant la mise en place des déchets. Ces cellules en béton sont généralement érigées sur des couches d'argile. L'espace entre les conteneurs est rempli. Quand le monolithe en béton est plein, il est fermé par une couverture en béton, puis recouvert d'une couche imperméable. Une fois l'ensemble des cellules du dépôt fermées, elles sont recouvertes d'argile, de différents matériaux et de terre. Il s'ensuit une période de surveillance d'environ 300 ans.

Avantages

- L'argumentaire de la sûreté à long terme est, en raison des demie-vies plus courtes, limité à quelques siècles, et donc entaché de moins d'incertitudes.
- Les dépôts à faible profondeur sont plus rapidement disponibles.
- La surveillance est relativement simple, pour autant qu'elle soit intégrée au concept dès le départ.

Inconvénients

- En cas de relâchement, les radionucléides se retrouvent sans délais dans les eaux de surface.
- On ne peut exclure, pour les dépôts de faible profondeur, les dégradations dues à des séismes ou autres événements externes importants.
- Les déchets stockés ne peuvent contenir que peu de radionucléides de demie-vie supérieure à 30 ans. Les déchets de faible et moyenne activité de demie-vie plus longue doivent être stockés dans d'autres dépôts.

3.3 La gestion des déchets de très faible activité

Outre une gestion similaire à celle des déchets de faible activité, il existe pour les déchets de très faible activité deux options : la libération des déchets dans le

domaine conventionnel et le stockage final avec des exigences de sûreté plus limitées que dans le cas du stockage à faible profondeur décrit ci-dessus.

3.3.1 Libération

Dans l'Union Européenne, la libération est légale en vertu de l'article 5 de la directive 96/29/EURATOM sous réserve que l'inventaire radioactif de ces déchets soit conforme aux seuils de libération fixés par les autorités nationales. La libération peut conduire à l'élimination (mise en décharge par exemple), au recyclage ou à la réutilisation.³ Ce sont les Etats membres de l'Union Européenne qui décident du degré d'utilisation de cette réglementation.

Avantages

- La quantité de déchets à stocker dans un dépôt géologique ou de faible profondeur destiné aux déchets de faible et moyenne activité est réduite.
- L'exposition des travailleurs des dépôts est réduite.

Inconvénients

- Les déchets de très faible activité quittent les domaines contrôlés, et sont disséminés dans l'environnement. Ceci conduit à terme à une élévation de la radioactivité ambiante.
- La concentration dans l'environnement des radionucléides présents dans les déchets libérés ou une utilisation accrue de ces déchets peut conduire à l'augmentation de l'exposition du public.

3.3.2 Stockage final avec exigences de sûreté limitées

Les déchets de très faible activité sont stockés, à l'instar des déchets de faible et moyenne activité, dans un site de stockage définitif de faible profondeur. Les exigences de sûreté relative à leur conditionnement, au confinement du site par

³ **Directive 96/29/Euratom du Conseil du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants** *Journal officiel n°L 159 du 29/06/1996 p. 0001 - 0114*

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

rapport à l'environnement, ainsi que l'ampleur des mesures de surveillance, sont moins strictes.

Avantages

- La quantité de déchets à stocker en dépôt géologique ou de faible profondeur destiné aux déchets de faible et moyenne activité est moindre.
- Contrairement à la libération, les déchets sont concentrés dans une installation et ne sont pas disséminés dans l'environnement.
- Le confinement des radionucléides est surveillé pendant une période donnée.

Inconvénients

- Comparé à un dépôt de déchets de faible et moyenne activité, les exigences de sûreté sont limitées, les possibilités de relâchement radioactif y sont alors plus élevées.

3.4 Conclusions sur les stratégies de gestion

Un des problèmes majeurs de l'utilisation du nucléaire pour la production d'électricité et de chaleur est la gestion des déchets ainsi produits. La description des stratégies existantes, ou en développement, montre qu'il existe effectivement des approches permettant de limiter les éventuels impacts de leur potentiel de risque, mais qu'il n'existe aucune possibilité de l'éliminer.

Ceci est valable pour l'ensemble des catégories de déchets, à cause de l'approche technique graduée en fonction de l'inventaire des radionucléides.

Même si l'on sort du nucléaire, on ne pourra échapper à la nécessité de gérer les déchets radioactifs; la comparaison des différents concepts de gestion montre leurs avantages et inconvénients respectifs. En raison des risques importants associés au retraitement et à la séparation-transmutation, ces options doivent, du point de vue de la sûreté, être totalement rejetées.

L'entreposage à long terme n'offre aucune possibilité de prévenir durablement la dissémination de substances radioactives sur plusieurs centaines d'années, voire plus. En outre, la transmission intégrale de la responsabilité des déchets radioactifs aux générations futures et les incertitudes qui entachent les prévisions de l'évolution

de la société (organisation sociale, culture de sûreté, conception économique) au-delà de quelques décennies, restent problématiques.

Pour l'ensemble des concepts de stockage définitif, la sûreté présumée repose uniquement sur des prévisions basées sur des connaissances empiriques collectées a posteriori ainsi qu'une connaissance humaine limitée au savoir du moment.

On ne peut apporter aujourd'hui (et dans l'état des connaissances à un horizon visible) une preuve scientifique plus précise de la sûreté à long terme. On peut cependant justifier, de façon plus ou moins fondée, une certaine plausibilité. Il faut préciser ici que les processus de vérification sont limités et influencés par des opinions subjectives (jugements d'experts), qui, - même s'il s'agit de l'opinion dominante - ne correspondent pas forcément aux comportements futurs réels du système.

En conséquence, aucune des options de gestion actuellement en débat ne permettra de résoudre le problème des déchets nucléaires. Il est seulement possible de peser le pour et le contre de chacune d'elle, afin que les options choisies soient relativement les meilleures.

4. La gestion des déchets dans l'Union Européenne, en Fédération de Russie et aux Etats-Unis

Nous présentons ici l'état de la gestion de déchets ainsi que les stratégies mises en œuvre dans chacun des Etats membres de l'Union Européenne où sont exploitées des installations nucléaires destinées à l'industrie électronucléaire (exploitation de l'uranium, réacteurs, approvisionnement et traitement des déchets).

En raison de leur importance pour l'Union Européenne – et en particulier pour certains pays de l'Europe de l'Est - nous traiterons aussi des stratégies de gestion des déchets en Fédération de Russie et aux Etats-Unis, et des problèmes qui s'y posent.

Nous avons utilisé comme sources de données et d'informations les rapports nationaux établis en 2009 dans le cadre de la "Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs", les réponses apportées aux questions soulevées par les rapports présentés par les

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Etats dans le cadre de cette convention, ainsi que le "Sixième rapport sur la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés dans l'Union Européenne" de 2008. Ces documents ne fournissent pas les informations relatives aux quantités produites pour l'ensemble des types de déchets dans chaque Etat. Vu l'ampleur de la tâche, ces données n'ont pu qu'être partiellement complétées dans le cadre de la présente étude à partir de sources complémentaires. Il ne nous est par conséquent pas possible d'indiquer de façon complète les quantités de déchets pour certains Etats membres de l'Union Européenne.

Les déchets radioactifs produits en dehors de la filière électronucléaire (pour la production d'électricité ou de chaleur) ne sont pris en compte que lorsqu'ils sont traités avec l'ensemble des déchets radioactifs dans les mêmes installations. Sauf mention contraire, les données relatives aux quantités de déchets radioactifs sont tirées des rapports de la "Convention commune", et se rapportent à la situation au 31 décembre 2007. Dans la plupart des cas, les données plus récentes ne sont pas encore publiées. De plus, les rapports établis dans le cadre de la "Convention commune" ne fournissent pas tous la répartition par installation des déchets existants. Ce sont alors les quantités totales qui figurent dans les tableaux ci-dessous.

Sont indiquées comme arrêtées toutes les installations se trouvant dans une phase comprise entre la fermeture et le démantèlement complet.

4.1 Situation et stratégies dans les Etats membres de l'Union Européenne

Belgique

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a en Belgique quatre réacteurs de puissance en service à Doel et trois à Tihange. Il y a aussi à Mol trois réacteurs de recherche en service.

Il y a également une usine de fabrication de combustible en exploitation.

Les installations à l'arrêt sont l'usine de retraitement d'Eurochemic, l'usine de fabrication de combustible de Dessel, l'ancien centre de déchets du SCK•CEN, et un réacteur de recherche respectivement à Mol et à Gand.

Stratégie de gestion des déchets :

- Entreposage des **combustibles irradiés** sur le site des centrales.
- Pas de décision définitive concernant le retraitement des combustibles irradiés ou leur stockage direct. Il y a actuellement un moratoire sur le retraitement. En 2011, le Gouvernement devra disposer des éléments lui permettant de prendre une décision. L'éventualité de la reprise du retraitement à La Hague est toutefois faible.
- La stratégie de référence est actuellement le stockage final direct en formation géologique profonde (argile).
- Court entreposage tampon des déchets de **faible et moyenne activité** sur les lieux de production.
- Conditionnement sur le lieu de production ou dans un site commun de traitement des déchets.
- Entreposage centralisé des déchets.
- Stockage final des déchets de faible et moyenne activité à vie courte en surface.
- Libération **des déchets de très faible activité**.

Situation actuelle du stockage final :

Les essais concernant la tenue de l'argile pour le stockage final se poursuivent activement. Il y a un laboratoire souterrain à Mol. Pas de décision attendue sur le lieu d'implantation. On table sur une hypothèse de mise en service du stockage géologique pour les déchets de haute activité à l'horizon 2080.

Le site de stockage pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte doit être implanté à Dessel, et entrer en service en 2016.

Installations de traitement des déchets, et quantités de déchets existants :

Jusqu'en 2001, on a procédé au retraitement de 670 tML de combustibles irradiés à La Hague. Le retour de France vers la Belgique n'a concerné encore qu'une faible part des déchets devant être renvoyés.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Doel	en service	2.675 tML *
	Entreposage (sec)	Doel	en service	
	Piscine de refroidissement en réacteur	Tihange	en service	
	Piscine d'entreposage	Tihange	en service	
HA **	Entreposage	Dessel	en service	35 m ³
	Entreposage	Mol	en service	244 m ³
Combustibles irradiés des réacteurs de recherche	Entreposage (sec)	Dessel	en service	2 tML
Combustibles irradiés / HA	Stockage final	non déterminé	mise en service éventuelle en 2080	-
FMA **	Entreposage	Mol	en service	16.583 m ³
	Entreposage	Dessel	en service	544 m ³
	Stockage final en surface	Dessel	Mise en service en 2016	-
TFA	Pas de données sur le devenir et les quantités des déchets libérés			

Ensemble des chiffres au 31.12.2007, sauf

* Données au 31.12.2004 tirées du "Sixième rapport sur la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés dans l'Union Européenne"⁴. Pour des raisons de sécurité, les données concernant les combustibles ne figurent pas dans le rapport de la "Convention commune".

⁴ Commission des Communautés Européennes, Sixième rapport sur la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés dans l'Union Européenne, COM(2008)542 final, Septembre 2008

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

** Le "Sixième rapport sur la gestion des déchets" indiquait au 31.12.2004, 444 m³ pour les HA et 17.000 m³ pour les FMA. Nous n'avons pas pu établir la raison pour laquelle les données figurant dans le rapport "Convention commune" au 31.12.2007 sont inférieures.

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Les combustibles irradiés et les déchets de haute activité doivent être entreposés pendant une très longue période, et leur acheminement vers un site de stockage définitif n'est pas prévu avant 2080. Leur état et le potentiel de danger qu'il présentera à cet horizon ne sont pas prévisibles.

Bulgarie

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a deux réacteurs en service à Kozloduy; deux autres sont prévus à Belene, mais les possibilités de financement ne sont pas claires à l'heure actuelle.

Il y a quatre réacteurs arrêtés sur le site de Kozloduy.

Un réacteur de recherche a été arrêté afin d'être transformé en réacteur de capacité réduite.

Stratégie de gestion des déchets :

- Après entreposage de décroissance des **combustibles irradiés** en piscine dans les réacteurs, ils sont ensuite entreposés dans des piscines de stockage de l'installation externe d'entreposage, implantée sur le même site.
- On prévoit le retraitement en Russie de la plupart des combustibles irradiés actuellement produits.
- L'entreposage à long terme des déchets de haute activité provenant du retraitement en Russie se fera, après mise en service, dans un site d'entreposage à sec. Celui-ci pourra également accueillir les combustibles irradiés.
- Les **combustibles irradiés des réacteurs de recherche** sont envoyés en Russie.
- Entreposage tampon des déchets de faible et moyenne activité dans les bâtiments réacteur.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Conditionnement central sur le site des réacteurs, et entreposage.
- Stockage définitif dans un dépôt à faible profondeur.
- Les **déchets de très faible activité** doivent être libérés ultérieurement.

Situation actuelle du stockage final :

Il n'y a pas d'activités spécifiques connues concernant un site de stockage définitif pour les déchets de haute activité ou les combustibles irradiés.

La recherche d'un site de stockage définitif pour les déchets de faible et moyenne activité a commencé en 2009. Quatre sites sont étudiés dans ce cadre.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Dans le cadre des contrats de retraitement conclus avec la Fédération de Russie après 1998, 2.367 tML de combustibles irradiés y avaient été transportées au 31 juillet 2008. Les déchets radioactifs issus du retraitement doivent être renvoyés.

Jusqu'en 1992, du minerai d'uranium a été extrait dans 40 mines et traité en Bulgarie. Les déchets produits ont été laissés sur site, et isolés.

Déchets	Type de stockage	Lieu	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Kozloduy 1-6	en service	380 tML
	Piscine d'entreposage	Kozloduy	en service	492 tML
Combustibles irradiés / HA	Stockage final	Lieu non déterminé	Pas de planification	-
FMA liquides	Cuves d'entreposage en réacteur	Kozloduy	en service	6.928 m ³ *
	Cuves d'entreposage en réacteur	Sofia	en service	50 m ³
FMA	Entreposage en réacteur	Kozloduy	en service	1.506 m ³ *

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu	Etat	Quantités stockées
FMA	Entreposage	Kozloduy	en service	3.959 m ³ *
	Stockage final à faible profondeur	Implantation encore non déterminée	Mise en service 2015	-
Déchets uranifères	Terrils + bassins de décantation	Buchovo	?	1,3·10 ⁶ m ³ + 4,5·10 ⁶ t

Ensemble des chiffres au 31.07.2008 tirés du rapport 2009 de la "Convention commune", sauf :

* chiffres au 31.12.2009 tirés du Rapport annuel 2009⁵

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Le retraitement des combustibles irradiés et la réutilisation dans de nouveaux combustibles des matières ainsi séparées nécessitent de multiples manipulations. Ceci a pour conséquence :

- L'exposition du personnel;
- D'importants rejets radioactifs et donc une exposition supplémentaire des populations et de l'environnement;
- Un risque élevé d'incident et d'accident;
- Un risque de prolifération élevé.

Ces effets sont délocalisés de Bulgarie vers un Etat non membre de l'Union Européenne (la Fédération de Russie). Ce à quoi il faut ajouter le fait que dans la plupart des cas, les exigences de sûreté y sont moins sévères que dans les Etats membres de l'Union Européenne exploitant des usines de retraitement.

En Bulgarie, les déchets de faible et moyenne activité sont entreposés pendant très longtemps à l'état liquide sur le site des réacteurs, ce qui accroît le potentiel de risque.

⁵ Nuclear Regulatory Agency Republic of Bulgaria, Report 2009

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Nous ne pouvons dire ici dans quelle mesure l'héritage des mines d'uranium et du traitement du minerai a été géré dans le respect des règles environnementales.

Allemagne

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

L'Allemagne exploite 17 réacteurs de puissance, répartis sur 12 sites.

17 réacteurs de puissance ou prototypes, sur 12 sites également, sont en cours de déclasserement.

Il y a trois réacteurs de recherche en service, et huit à l'arrêt.

Quatre centres de recherche disposent d'infrastructures nucléaires importantes.

Il existe également une usine d'enrichissement de l'uranium et une usine de fabrication de combustible.

En plus des réacteurs, il y a aussi une usine pilote de retraitement et quelques réacteurs de recherche en déclasserement.

Stratégie de gestion des déchets :

- Les **combustibles irradiés** sont d'abord entreposés pour refroidissement pendant quelques années en piscines dans les réacteurs.
- Transfert des combustibles dans des conteneurs de transport et de stockage et entreposage dans des hangars sur le site des réacteurs.
- Stockage définitif non réversible en formation géologique profonde.
- Conditionnement et entreposage des **déchets de faible et moyenne activité** sur le lieu de production ou de façon centralisée.
- Stockage définitif en formation géologique profonde.
- Jusqu'à présent, l'**uranium appauvri** provenant de l'usine d'enrichissement a été en majeure partie envoyé en Fédération de Russie pour y être réenrichi. L'hexafluorure d'uranium appauvri y est resté.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- A l'avenir, l'hexafluorure d'uranium appauvri sera envoyé dans le Sud de la France pour y être converti en oxyde d'uranium.
- A son retour de France, cet uranium sera entreposé à Gronau. Il n'y a à l'heure actuelle aucune stratégie de gestion ultérieure.
- Les **déchets de très faible activité** seront libérés pour élimination (décharge ou incinération) ou réutilisation.

Situation actuelle du stockage final :

Aucun site pour un dépôt de stockage définitif pour les combustibles irradiés, les déchets de haute activité, et une partie de ceux de moyenne activité n'a été sélectionné. Des travaux d'exploration souterraine sont menés pour la qualification du dôme de sel à Gorleben. Il n'a pas encore été décidé de lancer de procédure de sélection de site sur la base de critères géoscientifiques et techniques de sûreté.

Un site pour le stockage de déchets de faible et moyenne activité dans le sel a été autorisé à Salzgitter; sa mise en service est prévue pour 2019.

Il y a à Asse et Morsleben des dépôts de stockage définitif pour les déchets de faible et moyenne activité, fermés depuis un certain temps, mais qui sont menacés d'effondrement.

Installations de gestion et quantités présentes de déchets :

Ce sont, jusqu'en 2005, au total 6.258 tML de combustibles irradiés qui ont été transportées à l'étranger (en France, Grande-Bretagne et Belgique) pour y être retraitées, et 90 tML à Karlsruhe.

327 tML supplémentaires ont été acheminées vers d'autres installations à l'étranger où elles resteront définitivement.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Brunsbüttel	en service	76 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Krümmel	en service	125 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Brokdorf	en service	322 tML
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Unterweser	en service	217 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Grohnde	en service	425 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Emsland	en service	435 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Biblis	en service	704 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Neckarwestheim	en service	527 tML

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Neckarwestheim	en service	527 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Gundremmingen	en service	860 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Isar	en service	556 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur + entreposage (sec)	Grafenrheinfeld	en service	298 tML
Combustibles irradiés	Entreposage (piscine)	Obrigheim	en service	100 tML
	Entreposage (sec)	Greifswald	en service	583 tML
	Entreposage (sec)	Ahaus	en service	55 tML
	Entreposage (sec)	Gorleben	en service	37 tML
HA	Entreposage	Karlsruhe	en service	56 m ³
	Entreposage	Gorleben	en service	433 m ³
	Entreposage	Ahaus	en service	1.252 m ³
	Entreposage	Installations de recherche	en service	97 m ³
Combustibles irradiés / HA	Stockage géologique	non déterminé	mise en service ?	-

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu	Etat	Quantités stockées
FMA	Entreposage en réacteur	réacteurs en service	en service	11.495 m3
	Entreposage en réacteur	réacteurs arrêtés	en service	8.702 m3
	Entreposage	Unterweser	en service	1.148 m3
	Entreposage	Gorleben	en service	6.201 m3
	Entreposage	Mitterteich	en service	4.925 m3
	Entreposage	Hanau	en service	6.588 m3
	Entreposage	Greifswald	en service	3.644 m3
	Entreposage	Karlsruhe	en service	16.196 m3
	Entreposage	Installation de recherche	en service	49.187 m3
	Stockage géologique	Asse	à l'arrêt	47.000 m3
FMA	Stockage géologique	Mosleben	à l'arrêt	36.753 m ³ 6.617 sources
	Stockage géologique	Salzgitter	Mise en service 2019	-
TFA	Pas de données sur le devenir et les quantités de déchets libérés			
Déchets uranifères	Terrils + bassins de décantation	Wismut en Thuringe + Saxe	en cours de réhabilitation	pas de données

Ensemble des chiffres au 31.12.2007 tirés du rapport 2009 "Convention commune".

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Les ouvrages miniers des deux sites de stockages définitifs pour les déchets de faible et moyenne activité de Asse et Morsleben ne sont pas stables. A Asse on redoute en outre une intrusion massive d'eau. Les sols des cavités de stockage sont déjà gorgés d'eau. La démonstration de sûreté à long terme est impossible. C'est pourquoi les déchets doivent y être repris.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Ce ne sont pas des critères géoscientifiques qui ont guidé le choix de Gorleben. On craint surtout que ce site de stockage définitif soit imposé pour des considérations externes.

L'uranium appauvri provenant de l'usine d'enrichissement a par le passé été envoyé en grande quantité en Fédération de Russie sous forme d' UF_6 pour y être réenrichi. Environ 4/5ème de l' UF_6 (de l'uranium encore plus appauvri) se trouve toujours en Fédération de Russie. Les contrats liant les exploitants des installations en Allemagne et en Russie ne contiennent aucune exigence de sûreté contraignante concernant la gestion de cet UF_6 . Il n'y a visiblement aucun concept en Fédération de Russie pour cette gestion à long terme. On peut envisager qu'il sera entreposé sur une longue période à l'air libre dans des conteneurs à la sûreté insuffisante. Des relâchements dans l'environnement pourraient avoir des conséquences catastrophiques.

Finlande

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Les centrales de Loviisa et Olkiluoto disposent de deux réacteurs en service chacune. Il y a un réacteur en construction. Un réacteur de recherche est en service à Espoo.

Stratégie de gestion des déchets :

- Les **combustibles irradiés** provenant des réacteurs de puissance sont aux termes de la loi de 1994 des déchets nucléaires, ce qui ne permet pas leur retraitement.
- Entreposage temporaire des combustibles sur le site de réacteurs, dans des dépôts séparés.
- Stockage final des combustibles irradiés provenant des réacteurs électronucléaires dans des roches dures, à environ 500 m de profondeur.
- Le stockage final prévoit la possibilité de reprise des déchets.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Les **combustibles irradiés des réacteurs de recherche** sont entreposés sur site.
- Le choix de leur stockage direct ou de leur retour vers les Etats-Unis (leur pays d'origine) n'a pas encore été fait.
- Conditionnement des déchets **de faible et moyenne activité** sur le lieu de production.
- S'ils répondent aux conditions de stockage final, après entreposage tampon stockage final à faible profondeur (environ 60 m) sur le site de chacune des centrales.
- S'ils ne répondent pas aux conditions de stockage final, allongement de la période d'entreposage et stockage final ultérieur en formation profonde.
- Les **déchets de très faible activité** sont relâchés en mer (effluents liquides), placés dans des décharges conventionnelles, ou réutilisés. Il y a une décharge à cet effet sur le site d'Olkiluoto; à Loviisa ils sont acheminés vers une décharge à l'extérieur du site.

Situation actuelle du stockage final :

Le site de stockage final pour les combustibles irradiés et autres déchets de haute activité d'Olkiluoto a été définitivement retenu en 2001. Le laboratoire souterrain de caractérisation y est en service. Il sera intégré au site de stockage. L'autorisation de création pour l'ensemble du site de stockage est attendue pour 2012, et l'exploitation devrait intervenir vers 2020.

Pour les déchets de faible et moyenne activité, des sites de stockage à faible profondeur sont en exploitation sur le site des réacteurs.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Jusqu'en 1996, une partie des combustibles irradiés (330 tML) a été retraitée en Fédération de Russie.

Exploitation jusqu'en 1961 deux installations pilotes d'extraction et de broyage du minerai d'uranium Eno (31.000 t) et Askola (1.000 t).

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine d'entreposage	Loviisa	en service	428 tML
	Piscine d'entreposage	Olkiluoto	en service	1.142 tML
Combustibles irradiés des réacteurs de recherche	Piscine de refroidissement en réacteur	Espoo	en service	4,2 kgML
Combustible irradié / HA	Stockage final	près d'Olkiluoto	mise en service 2020	-
FMA liquide	Entreposage	Loviisa	en service	1.290 m ³
FMA	Entreposage	Loviisa	en service	239 m ³
	Entreposage	Olkiluoto	en service	1.334 m ³
	Entreposage	Espoo	en service	6 m ³
	Stockage final à faible profondeur	Loviisa	en service	1.475 m ³
FMA	Stockage final à faible profondeur	Olkiluoto	en service	4.790 m ³
TFA	Entreposage	Olkiluoto	en service	51 m ³
TFA	Décharge	Olkiluoto	en service	nd
Déchets uranifères	Terrils + Bassin de décantation	Eno Askola	réhabilitation	nd

Ensemble des chiffres au 31.12.2007 tirés du rapport 2009 "Convention commune".

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

L'élément clé du concept de stockage final est l'efficacité des barrières techniques pendant plusieurs milliers d'années. Vu les conditions géologiques en Scandinavie, la seule implantation possible d'un dépôt final est dans des roches dures. Les roches dures sont fracturées et donc aquifères. Le confinement des radioéléments contenus dans les déchets ne pourra par conséquent être garanti à long terme que par un

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

matériau extrêmement résistant à la corrosion. Le cuivre jusqu'à présent réputé très résistant à la corrosion doit être utilisé pour la fabrication des conteneurs de stockage pour les combustibles irradiés.

En 2009, l'Institut royal de technologie de Stockholm a publié les résultats d'une étude mettant en évidence une évolution de la corrosion dans les conditions géochimique d'un stockage final fermé bien plus rapide que ce qu'indiquait l'état des connaissances. La corrosion traversante commencerait à apparaître déjà au bout d'un millier d'années. Ce qui impliquerait une dissémination à des échéances où même pour les radionucléides à vie moins longue la décroissance sera limitée.

France

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a en France, 58 réacteurs (19 sites) en service et un réacteur en construction.

Il y a neuf réacteurs de recherche implantés sur quatre sites différents.

Il y a quatre usines de fabrication de combustible ou de fabrication de pastilles sur trois sites, deux usines de conversion sur deux sites, et une usine d'enrichissement.

Il y a deux usines de retraitement sur un site.

14 réacteurs (de puissance ou de recherche) sur 11 sites et 10 autres installations nucléaires sur cinq sites sont à l'arrêt.

Stratégie de gestion des déchets :

- Le concept actuel de gestion des déchets se fonde sur la loi de 2006.⁶
- Les **combustibles irradiés** sont dans un premier temps entreposés en piscine dans les réacteurs.
- Prédominance du retraitement des combustibles irradiés (jusqu'à 2009 environ 850 tML, à partir de 2010 environ 1.050 tML sur les quelques 1.150 tML de combustibles irradiés produites chaque année en France).

⁶ Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Seules de petites quantités de combustibles irradiés MOX ou contenant de l'uranium de retraitement sont retraitées, à des fins de démonstration. On procède à leur entreposage en attendant de pouvoir les utiliser dans des réacteurs en développement (GenIV).
- Pour les combustibles irradiés non retraités, les déchets de haute activité issus du retraitement, ainsi que les déchets de moyenne activité à vie longue, on poursuit trois voies complémentaires de recherche et développement :
 - a) Séparation et transmutation. En 2012, un rapport d'évaluation doit se prononcer sur les perspectives industrielles de ces différentes filières. L'objectif est la mise en service d'un prototype d'installation avant la fin 2020, et la mise en service de la filière industrielle en 2040. Le développement doit être mené en étroite corrélation avec le développement des nouvelles technologies de réacteur.
 - b) Stockage final en formation géologique profonde. Le dépôt devra être réversible pendant au moins 100 ans. C'est la solution de référence pour tous les déchets radioactifs que l'on ne peut, pour des raisons de sûreté, introduire dans un site de stockage de surface.
 - c) Développement des technologies d'entreposage et de conditionnement qui devront être disponibles au plus tard en 2015.
- Les **combustibles irradiés des réacteurs de recherche** sont en partie retraités et en partie entreposés en attendant leur stockage final.
- Les **déchets de faible et moyenne activité à vie longue** sont en majorité entreposés sur les lieux de production.
- Pour une partie de ces déchets, aucune stratégie de gestion n'a encore été développée (comme les déchets de graphite provenant des réacteurs de recherche ou de l'exploitation des réacteurs graphite-gaz, certaines boues provenant du retraitement, déchets tritiés); pour d'autres les procédés de conditionnement n'ont pas encore été éprouvés (déchets contenant du sodium provenant de la recherche sur les surgénérateurs, solutions uranium-molybdène issues du retraitement).
- Les **déchets de faible et moyenne activité à vie courte** sont conditionnés sur leur lieu de production.
- Stockage dès que possible en dépôt final de surface.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Chaque cellule de stockage du site sera entièrement remplie, puis l'ensemble du site, une fois la capacité totale atteinte, sera recouvert de plusieurs couches de différents matériaux.
- La durée de la phase de surveillance des sites de stockage de surface sera de 300 ans environ après fermeture.
- Les **déchets de très faible activité** sont stockés en France sur un site de stockage de surface, avec des exigences de sûreté réduites. Dans certains cas particuliers, la libération des déchets de très faible activité est possible. Mais elle ne peut en aucun cas entraîner une réutilisation dans des produits de consommation ou matériaux de construction. Dans la plupart des cas, il s'agit de réutilisation à l'intérieur de la filière nucléaire.
- Les **déchets uranifères** provenant de l'enrichissement ou de la fabrication de combustibles, sont, en fonction de leur inventaire radioactif, destinés au stockage final de déchets de très faible activité ou de faible et moyenne activité.
- Les quelques 50 millions de tonnes de résidus provenant de l'exploitation du minerai d'uranium et 200 millions de tonnes de stériles sont stockées sur les sites.

Le sort de certaines matières n'est pas complètement clair. Il s'agit par exemple de l'uranium appauvri issu de l'enrichissement, de combustibles qui ne seront pas retraités, ou de l'uranium retraité. Le stock de plutonium non irradié ne cesse d'augmenter et se montait à la fin 2009 à 56 tonnes, plus 26 tonnes appartenant à des exploitants étrangers.

Situation actuelle du stockage final :

Le site de stockage final pour les déchets de haute activité et les déchets de faible et moyenne activité à vie longue doit être construit près du laboratoire souterrain de Bure. Il doit entrer en service en 2025.

Un site de stockage de faible profondeur pour les déchets de faible activité à vie longue doit entrer en service en 2019.

Un site de stockage de surface, le CSM, est fermé depuis 1994, et est entré en phase de surveillance, pour au moins 300 ans.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Un site de stockage de surface pour les déchets de très faible activité est en exploitation à Morvilliers, ainsi qu'un site de stockage pour les déchets de faible et moyenne activité à Soulaines (CSA).

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

En 2010, environ 16.000 tML de combustibles irradiés français avaient été retraitées à La Hague.

Il y a environ 200 mines d'uranium et 20 installations d'extraction et de traitement du minerai, aujourd'hui toutes fermées.

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Site des réacteurs	en service	3.923 tML
	4 piscines d'entreposage	La Hague	en service, sera agrandi	9.421 tML *
	Piscines d'entreposage	Creys-Malville	en service	nd
HA	3 installations d'entreposage	La Hague	en service, sera agrandi	1.650 m ³ **
	Entreposage	Marcoule	en service	558 m ³ **
	Entreposage	CEA installation	en service	85 m ³ **
MA-VL	Entreposage	Sites des réacteurs	en service	966 m3
	Entreposage	La Hague	en service	19.171 m3 **
	Entreposage	Marcoule	en service	10.684 m3 **
	Entreposage	CEA installation	en service	10.727 m3 **
	Entreposage	Centres de recherche	en service	2 m ³ **
	Entreposage	Bouches-du-Rhône	en service	8.043 m ³ **

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
MA-VL	Stockage final faible profondeur	site pas encore sélectionné	mise en service 2019	-
Déchets radifères	Entreposage	Charente-Maritime	en service	25.726 m ^{3**}
	Entreposage	Isère	fermé	1.929 m ^{3**}
	Entreposage	Vaucluse	en service	384 m ^{3**}
	Entreposage	Bouches-du-Rhône	en service	5.950 m ^{3**}
FA - VL	Entreposage	Le Bouchet	en service	11.867 m ^{3**}
	Entreposage	site des réacteurs	en service	9.061 m ^{3**}
	Entreposage	La Hague	en service	4.952 m ^{3**}
	Entreposage	Marcoule	en service	37.874 m ^{3**}
	Entreposage	CEA installation	en service	4 m ^{3**}
FA - VL	Entreposage	Centres de recherche	en service	63 m ^{3**}
Déchets tritiés	Entreposage	Côte d'Or	en service	2.368 m ^{3**}
FMA - VC	Entreposage en réacteur	Sites des réacteurs	en service	13.696 m ^{3**}
	Entreposage	Usines de conditionnement	en service	1.819 m ^{3**}
	Entreposage	CEA installation	en service	8.037 m ^{3**}
	Entreposage	Centres de recherche	en service	852 m ^{3**}

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
FMA - VC	Entreposage	Usines d'uranium	en service	849 m ³ **
	Centre de stockage en surface (CSM)	La Hague, Manche	fermé	527.225 m ³
	Centre de stockage en surface (CSA)	Soulaines, Aube	en service	208.053 m ³
Déchets non classifiés	Entreposage	Implantation non spécifiée	en service	1.564 m ³ **
TFA	Entreposage en réacteur	Site des réacteurs	en service	16.752 m ³ **
	Entreposage	CEA installation	en service	32.570 m ³ **
	Entreposage	Centres de recherche	en service	1.364 m ³ **
	Entreposage	Usines de traitement de l'uranium	en service	28.637 m ³ **
	Entreposage	Usine de conditionnement	en service	4.251 m ³ **
	Centre de stockage en surface	Morvilliers	en service	89.331 m ³
Déchets uranifères	Terrils + bassins de décantation	20 sites	fermés	33 millions m ³ **

Ensemble des chiffres au 31.12.2007, à l'exception de

* Chiffres au 31.12.2009 (dont environ 45 tML de l'étranger)⁷

** Chiffres au 31.12.2007 tirés de l'Inventaire national⁸

⁷ Mycle Schneider: Reflexionen über Entsorgungsstrategien eines Rohstoffs mit negativem Marktwert, Vortrag, Uni-Hamburg, 1er juillet 2010

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Fin 2007, on recensait 1.121 sites contenant des déchets radioactifs.

Au total, au 31.12.2007 le volume de déchets entreposés ou stockés était de 1.152.533 m³ de déchets radioactifs, auquel il faut ajouter 33.000.000 m³ provenant de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium, répartis sur une vingtaine de sites.

Bien que cette forme de production d'électricité ne soit pas durable d'un point de vue environnemental, le recours au nucléaire doit se poursuivre en France.

Le retraitement des combustibles irradiés et la réutilisation des matières ainsi séparées pour la fabrication de nouveaux combustibles impliquent une multiplication de la manipulation des substances radioactives. Ceci a pour conséquences :

- L'exposition des travailleurs,
- Des rejets importants de substances radioactives, entraînant une augmentation de l'exposition des populations et de l'environnement,
- Un risque d'incident et d'accident élevé,
- Un potentiel de prolifération élevé.

La comparaison de sites dans des formations géologiques différentes, prévue par la loi, n'a pas abouti. C'est actuellement la région de Bure, implantation de l'actuel laboratoire souterrain où l'on étudie le stockage dans l'argile, qui est pressentie pour accueillir le stockage final.

Il n'y a à l'heure actuelle pas de concept pour la gestion d'une partie des déchets de faible et moyenne activité.

L'uranium appauvri provenant des usines d'enrichissement a été par le passé envoyé en grande quantité en Fédération de Russie, sous forme d'UF₆, pour y être réenrichi. Environ 4/5 de l'UF₆ (encore plus appauvri) reste en Russie. Les contrats liant les exploitants des installations en France et en Russie ne contiennent aucune exigence de sûreté contraignante concernant la gestion de cet UF₆. Il n'y a visiblement aucun concept en Fédération de Russie pour cette gestion à long terme. On peut envisager qu'il sera entreposé sur une longue période à l'air libre dans des conteneurs à la

⁸ Inventaire national des matières et déchets radioactifs 2009, Rapport de synthèse, Andra

sûreté insuffisante. Une dissémination dans l'environnement pourrait avoir des conséquences catastrophiques.

Grande-Bretagne

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a en Grande-Bretagne, 19 réacteurs (neuf sites) en service.

Il y a à Sellafield deux usines de retraitement et une usine de fabrication de combustible MOX en service.

En service également, une usine d'enrichissement à Capenhurst et une usine de fabrication de combustibles à Springfield.

Les installations de recherche sur la fusion JET produisent également des déchets.

Neuf réacteurs de puissance, cinq réacteurs de recherche, deux usines de retraitement et une usine de traitement d'uranium en déclasserment.

Stratégie de gestion des déchets :

- Les **combustibles irradiés** déchargés des réacteurs Magnox et des réacteurs avancés refroidis au gaz (AGR) sont transportés à l'issue d'une période assez courte de refroidissement en piscine sur le site des réacteurs, vers le site de Sellafield, où ils sont entreposés en attendant leur retraitement.
- Les combustibles déchargés des réacteurs à eau légère sont entreposés sur le site des réacteurs.
- En ce qui concerne les combustibles irradiés des réacteurs actuellement en service, ce sont les exploitants qui doivent choisir entre le retraitement et le stockage direct. L'exploitation de l'usine de retraitement THORP doit de toute façon être prolongée jusqu'en 2020, pour traiter en priorité les combustibles AGR. Pour ce qui est des combustibles des réacteurs actuellement en projet, on envisage pour l'instant le stockage direct.
- Entreposage des **déchets de haute activité** sur le lieu de production pendant 50 ans.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Les déchets dont l'activité est plus élevée (ainsi que les combustibles lorsqu'ils sont déclarés comme déchets) devront être stockés en formation géologique profonde.
- Entreposage **des déchets de moyenne activité** sur les lieux de production.
- Stockage final des déchets de moyenne activité en formation géologique profonde.
- Entreposage des **déchets de faible activité** sur les lieux de production et, le cas échéant, à Sellafield.
- Stockage final des déchets de faible activité sur un site de surface.
- Les **déchets de très faible activité** sont acheminés vers des décharges conventionnelles, surveillées ou non en fonction de leur quantité.

Situation actuelle du stockage final :

Un site de stockage définitif pour les déchets d'activité plus élevée (y compris les combustibles irradiés) doit entrer en service en 2075. La procédure de sélection a été lancée récemment. Une des régions favorites pour l'implantation du site de stockage final est la "West Cumbria".

Le site de stockage définitif pour les déchets de moyenne activité doit entrer en service en 2040.

Un site de stockage définitif pour les déchets de faible activité est en service à Drigg.

A Dounreay, un site de stockage final pour les déchets de faible et moyenne activité doit être vidé pour des raisons de sûreté. Un nouveau dépôt doit y entrer en service en 2013.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

En Grande-Bretagne, la très grande majorité des combustibles irradiés ont été retraités. Nous n'avons pu déterminer, dans le cadre de la présente étude, la quantité de combustibles traités dans l'usine de retraitement des combustibles MAGNOX. L'autre usine, THORP, avait retraité à la fin 2009, environ 1.700 tML de combustibles irradiés britanniques.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Réacteurs	en service	620 tML
	Entreposage	Sellafield	en service	5.220 tML*
HA	Entreposage	Sellafield	en service	1.730 m ³
Combustibles irradiés des réacteurs de recherche	Piscine de refroidissement en réacteur	Dounreay et autre	en service	21 tML
Combustibles irradiés / HA	Stockage final	Implantation non choisie	mise en service 2075	-
MA	Entreposage	Sellafield	en service	63.900 m ³
	Entreposage	Aldermaston Dounreay Harwell Site des réacteurs	en service	28.600 m ³
FA	Entreposage	Sellafield	en service	11.200 m ³
	Entreposage	Capenhurst	en service	10.700 m ³
	Entreposage	Dounreay	en service	6.860 m ³
	Stockage faible profondeur	à Dounreay	fermé	33.600 m ³
	Stockage faible profondeur	à Drigg	en service, sera agrandi	905.000 m ³
TFA	Décharges	Aucune indication de lieu ni de quantités		

Chiffres au 01.04.2007⁹

* dont 750 tML de combustibles étrangers

⁹ NDA + defra: The 2007 UK Radioactive Waste Inventory, Main Report, Mars 2008

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

**dont 0,7 tML de combustibles étrangers

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Le retraitement des combustibles irradiés et la réutilisation des matières ainsi séparées pour la fabrication de nouveaux combustibles impliquent une multiplication de la manipulation des substances radioactives. Ceci a pour conséquences :

- L'exposition des travailleurs,
- Des rejets importants de substances radioactives, entraînant une augmentation de l'exposition des populations et de l'environnement,
- Un risque d'incident et d'accident élevé,
- Un potentiel de prolifération élevé.

A Sellafield, on a constaté une élévation des contaminations dans l'eau de mer et sur les plages. Ces contaminations ont entraîné des niveaux élevés d'activité dans la faune et la flore. Des publications scientifiques mentionnent une augmentation des cas de maladies chez les enfants de travailleurs de Sellafield dans les environs de Sellafield. Cela fait des années qu'il y a des discussions pour savoir si l'usine en est à l'origine. Une relation de cause à effet n'a pas pu être établie jusqu'à présent, mais ne peut pas d'avantage être exclue.

A Dounreay, des niveaux élevés de concentration de radioactivité ont été détectés dans les eaux côtières, c'est pourquoi les déchets qui avaient été déjà mis en stockage final sont repris et reconditionnés.

A cause du manque de mesures de protection de l'environnement, on estime qu'il y aurait 13.000.000 m³ de sols contaminés sur les sites des installations nucléaires britanniques.

Lituanie

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Les deux réacteurs lithuaniens sont arrêtés.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Stratégie de gestion des déchets :

- Les **combustibles irradiés** se trouvent en piscine d'entreposage sur le site des réacteurs.
- Transfert dans un stockage à sec, après sa mise en service, pour une cinquantaine d'années.
- Des analyses doivent être menées afin de déterminer le mode de gestion ultérieur des combustibles irradiés. Trois options sont étudiées : stockage final en Lituanie, stockage final ou retraitement à l'étranger.
- Les **déchets de moyenne activité à vie longue** sont destinés au stockage définitif en formation géologique profonde.
- Les **déchets de faible et moyenne activité** liquides sont bituminés ou cimentés. Ces déchets, ainsi que les déchets de faible et moyenne activité à vie courte, seront stockés dans un site à faible profondeur, et les déchets de faible activité à vie longue dans un site de faible profondeur avec des mesures supplémentaires.
- Les **déchets de très faible activité** peuvent être libérés et réutilisés, ou mis en décharge conventionnelle.

Situation actuelle du stockage final :

La décision concernant le traitement des combustibles irradiés n'a pas encore été prise. On travaille actuellement sur une étude de faisabilité qui devra servir de base à la décision politique sur cette option.

Le stockage final de déchets bituminés dans les installations d'entreposage sur le site des réacteurs, comme cela était initialement prévu, est à l'étude. La décision est attendue pour 2011. Pour les autres déchets de faible et moyenne activité, un site à faible profondeur sera créé. Sa localisation est déjà décidée (Stabatiškė), à quelques kilomètres de la centrale d'Ignalina. Les analyses de sûreté sont en cours.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Comme dans la plupart des centrales de conception russe, il n'y pas d'entreposage des déchets, et à l'issue de diverses opérations de conditionnement (installations d'évaporation et de bitumage, de cimentage) les déchets rejoignent directement une installation de stockage final en surface sur le site de la centrale. Pour les déchets

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

liquides, des cuves enterrées, hermétiquement fermées après remplissage, ont été installées. Les déchets solides sont stockés dans des bunkers en béton, enterrés ou en surface. Selon les descriptions des constructions, on qualifie aujourd'hui d'entreposage des ouvrages qui, à l'origine, devaient servir de stockage final. L'utilisation, au moins partielle, comme stockage final est à l'étude.

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Ignalina	en service	1.502 tML
	Entreposage (sec)	près d'Ignalina	en service, sera agrandi	541,7 tML
FMA-VL	Entreposage	Ignalina	?	760 m ³ **
FMA liquide	Entreposage - citernes	Ignalina	en service	3.746 m ³
FMA	2 bâtiments de stockage	Ignalina	partiellement en service	25.625 m ³ *
	Stockage des déchets bitumés	Ignalina	en service; étude sur la conversion en stockage de surface	13.963 m ³ *
	Stockage des déchets cimentés	Ignalina	en service	1.198,4 m ³
	Stockage à faible profondeur	Stabatiškė	Mise en service 2015 ?	-
TFA	Décharge	pas de données		26.000 m ³ **

Chiffres au 31.12.2007 tirés du rapport 2009 "Convention commune", à l'exception de :

* Chiffres au 01.01.2010 tirés de VATESI¹⁰

** Chiffres au 31.12.2004 tirés du Sixième rapport sur la gestion des déchets¹¹

¹⁰ VATESI: Nuclear Energy in Lithuania, Annual Report 2009

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Il n'y a pas de stratégie pour le traitement ultérieur des combustibles irradiés, ni de calendrier pour son élaboration. Le choix du retraitement reviendrait à délocaliser le potentiel de danger vers un Etat non membre de l'Union Européenne, avec des exigences de sûreté moins élevées (la Fédération de Russie). En cas de décision en faveur du stockage direct, il faudra compter sur l'entreposage en surface des combustibles irradiés pour une durée de plus de 50 ans.

Le stockage de la plupart des déchets de faible et moyenne activité issus de l'exploitation de la centrale nucléaire est dans un état délabré. Le mode de stockage actuel ne garantit pas le confinement des radioéléments à long terme. Une partie des autorisations d'entreposage arrive à échéance fin 2010. Les déchets doivent être récupérés et reconditionnés. La construction d'une installation de traitement et d'entreposage des déchets est par conséquent en projet.

Pays-Bas

Réacteurs nucléaires et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a un réacteur en service à Borssele. La procédure d'autorisation pour la construction d'un nouveau réacteur a commencé en octobre 2010.

Il y a trois réacteurs de recherche en service, à Petten et Delft.

Il y a une usine d'enrichissement d'uranium à Almelo.

Un deuxième réacteur de puissance est à l'arrêt, en phase dite de "conditionnement sûr" qui devrait durer 40 ans.

Stratégie de gestion des déchets :

- Retraitement de l'ensemble des **combustibles irradiés** produits jusqu'en 2015, à Sellafield et La Hague. Pour les combustibles produits après 2015, un nouveau contrat a été conclu avec AREVA NC pour le retraitement à La Hague. Les

¹¹ Commission des Communautés Européennes, Sixième rapport sur la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés dans l'Union Européenne, COM(2008)542 final, Septembre 2008

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

déchets produits par ces opérations devront être renvoyés aux Pays-Bas en 2034 au plus tard.

- Les déchets de haute activité vitrifiés et les déchets de moyenne activité à vie longue compactés, produits par ces opérations et qui retourneront aux Pays-Bas, devront être entreposés pendant une période pouvant atteindre 100 ans.
- Le stockage final devra éventuellement être réversible.
- Entreposage à long terme de la majorité des **combustibles irradiés des réacteurs de recherche**. Une partie des combustibles irradiés du réacteur à haut flux de Petten a été renvoyée aux Etats-Unis.
- Les **déchets de faible et moyenne activité** sont envoyés pour traitement vers une installation centrale de conditionnement implantée sur le site d'entreposage.
- Entreposage pour une centaine d'années.
- Un programme de recherche portant sur le stockage final de ces déchets a été entrepris. En raison du niveau élevé des nappes phréatiques et des incertitudes concernant le niveau de la mer à long terme, il n'est pas question de stockage final de surface ou de faible profondeur. C'est par conséquent le stockage final en formation géologique profonde qui est prévu à long terme pour l'ensemble des déchets radioactifs.
- Jusqu'à présent, l'**uranium appauvri** provenant de l'usine d'enrichissement a été en majeure partie envoyé en Fédération de Russie pour y être réenrichi.
- Il sera à l'avenir envoyé dans le Sud de la France pour y être converti en oxyde d'uranium.
- Ensuite, entreposage à Vlissingen.
- Les **déchets de très faible activité** sont libérés.

Pour l'ensemble des types de déchets radioactifs, on envisage aussi la possibilité d'un site de stockage final international ou régional.

Situation actuelle du stockage final :

Il n'a pas encore été procédé à la recherche d'un site pour le stockage définitif. On estime cependant qu'il y a suffisamment de dépôts de sel et d'argile aux Pays-Bas

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

pour accueillir un site de stockage définitif. Les résultats d'un programme de recherche achevé en 2001 ont montré qu'en termes de radioprotection un stockage final réversible dans l'argile ou le sel était possible. La recherche sur divers aspects du stockage va se poursuivre, entre autre via la participation à des projets internationaux.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Les combustibles irradiés hollandais sont retraités à Sellafield et La Hague; à partir de 2015 ils le seront uniquement à La Hague. Le rapport pour la "Convention commune" ne contient aucune information quantitative. Par le biais d'autres sources, on arrive pour Sellafield à une quantité de 53 tML de combustibles irradiés. A La Hague, 326 tML avaient été retraitées à la fin 2009.

Il y a une installation de traitement pour l'ensemble des déchets sur le site de l'entreposage à long terme de Borssele.

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Borssele	en service	561,6 tML
Combustibles irradiés de réacteur de recherche	Piscine de refroidissement en réacteur	Petten, Delft	en service	0,14 tML
HA / Combustibles irradiés	Entreposage à long terme (sec)	Borssele	en service	29,6 m ³
	Entreposage	Petten	en service	pas de données
FMA	Entreposage en réacteur	Borssele	en service	1.687 m ³
FMA	Entreposage à long terme	Borssele	en service	9.078 m ³
TFA	Pas de données sur les quantités et le devenir des déchets libérés			
Oxyde d'uranium appauvri	Entreposage à long terme	Borssele	en service	1.845 m ³

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Ensemble des chiffres au 31.12.2007 tirés du rapport 2009 "Convention commune".

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

En dépit de l'absence de perspectives relatives à la gestion définitive des déchets radioactifs, la durée d'exploitation de la centrale de Borssele a été considérablement allongée, et on envisage la construction d'un nouveau réacteur.

Le retraitement des combustibles irradiés et la réutilisation des matières ainsi séparées pour la fabrication de nouveaux combustibles impliquent une multiplication de la manipulation des substances radioactives. Ceci a pour conséquences :

- L'exposition des travailleurs,
- Des rejets importants de substances radioactives, entraînant une augmentation de l'exposition des populations et de l'environnement,
- Un risque d'incident et d'accident élevé,
- Un potentiel de prolifération élevé.

Les rapports néerlandais ne disent rien sur l'expérience que l'on a de l'état des colis à l'issue d'un entreposage prolongé. Les exemples dans d'autres Etats membres de l'Union Européenne font état de l'apparition, même après des périodes d'entreposage de 20 ans - parfois moins -, d'une corrosion importante ou autres phénomènes. Avec des durée d'entreposage de 100 ans, on peut donc s'attendre à un besoin accru de procéder à des opérations de maintenance ou de réparation, à chaque fois associées à une exposition des travailleurs et, dans une moindre mesure, de la population.

L'uranium appauvri provenant de l'usine d'enrichissement d'Almelo a été par le passé envoyé en grande quantité en Fédération de Russie, sous forme d' UF_6 , pour y être réenrichi. Environ 4/5 de l' UF_6 (encore plus appauvri) reste en Russie. Les contrats liant les exploitants des installations aux Pays-Bas et en Russie ne contiennent aucune exigences de sûreté contraignantes concernant la gestion de cet UF_6 . Il n'y a visiblement aucun concept en Fédération de Russie pour cette gestion à long terme. On peut envisager qu'il sera entreposé sur une longue période à l'air libre dans des conteneurs à la sûreté insuffisante. La dissémination dans l'environnement pourrait avoir des conséquences catastrophiques.

L'utilisation extensive des déchets radioactifs libérés dans les secteurs conventionnels peut, en particulier dans le cas d'un petit pays comme les Pays-Bas, conduire à une augmentation du rayonnement ambiant pour la population.

Roumanie

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a en Roumanie deux réacteurs de puissance en service, et un en projet, tous sur le site de Cernavoda.

Un réacteur de recherche est en service et un à l'arrêt.

Une mine d'uranium est en exploitation, une est fermée, et une est en projet.

Stratégie de gestion des déchets :

- Entreposage des **combustibles irradiés** en piscine dans les réacteurs de puissance pendant 6 ans.
- Entreposage des combustibles à sec pendant 50 ans minimum.
- Stockage final en formation géologique profonde au plus tôt à partir de 2050.
- Les **combustibles irradiés des réacteurs de recherche** à l'issue de l'entreposage rejoindront également le stockage final, ou seront renvoyés dans leur pays d'origine.
- Conditionnement et entreposage de 50 ans minimum pour **les déchets de faible et moyenne activité** à vie longue.
- Stockage final en formation géologique profonde au plus tôt à partir de 2050.
- Entreposage des déchets de faible et moyenne activité à vie courte.
- Stockage final de faible profondeur.

Situation actuelle du stockage final :

On ne trouve pas dans les documents disponibles (rapport "Convention commune 2005" et "Sixième rapport sur la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés dans l'Union Européenne") mention d'activités remarquables concernant un site de stockage final pour les combustibles irradiés.

Le site de stockage de faible profondeur pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte doit entrer en service en 2014. Il n'est pas fait mention, dans les documents disponibles, du choix d'un site.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Cernavoda	en service	603 tML
	Entreposage (sec)		en service, sera agrandi	159 tML
Combustibles irradiés de réacteurs de recherche	Piscine de refroidissement en réacteur	Pitesti	en service	< 1 tML
	Entreposage (sec)		en service	
	Piscine de refroidissement en réacteur	Magurele	en service	< 1 tML
CI / HA	Stockage final	Lieu non déterminé	mise en service ?	-
FMA	Stockage en réacteur	Cernavoda	en service	179 m ³
	Entreposage	Cernavoda Pitesti Magurele	en service	304 m ³
	Stockage final à faible profondeur	Lieu non déterminé	mise en service 2014	-
Déchets uranifères	Terrils + Bassins de décantation	Brasov	fermé	4,5 millions de t

Ensemble des chiffres tirés du rapport 2004 "Convention commune".

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Il n'y a pas de signe d'efforts sérieux de recherche de site, ni de mise en œuvre proche d'un stockage des combustibles irradiés et des déchets de faible et moyenne activité.

Suède

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a 10 réacteurs de puissance sur trois sites et deux réacteurs de recherche (deux sites) en service.

Il y a également une usine de fabrication de combustible et une usine de recyclage des déchets d'uranium.

Il y a trois réacteurs de puissance et deux réacteurs de recherche à l'arrêt.

Stratégie de gestion des déchets :

- Entreposage des **combustibles irradiés** en piscine des réacteurs.
- Après refroidissement, transport et entreposage pour 30 ans minimum dans l'entreposage intermédiaire centralisé souterrain (CLAB), dans le granite, à 25 - 30 mètres de profondeur.
- Conditionnement pour stockage final dans une usine sur le site de stockage final à créer.
- Stockage final dans le granite entre 400 et 700 mètres de profondeur.
- La reprise des déchets doit être possible même après remblayage et fermeture du dépôt.
- Les **combustibles irradiés** des réacteurs de recherche sont en partie renvoyés aux Etats-Unis (pays d'origine). Le reste de ces combustibles sera traité conformément à la stratégie suédoise de gestion des combustibles.
- Conditionnement des **déchets de faible et moyenne activité** sur les lieux de production, le cas échéant à Studsvik pour les déchets combustibles et métalliques.
- Stockage final de tous les déchets de faible et moyenne activité à vie courte dans le site de stockage SFR-1, dans le granite.
- Les déchets de démantèlement doivent être stockés à partir de 2020 dans un agrandissement du site de stockage SFR.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Entreposage des déchets de faible et moyenne activité à vie longue sur les lieux de production. Ils seront par la suite transférés vers un site central d'entreposage avant de rejoindre plus tard un site de stockage dédié. Actuellement, on n'envisage pas de site de stockage pour ces déchets avant 2045.
- Les **déchets de très faible activité** seront soit stockés en surface sur le site des réacteurs ou de l'usine de conditionnement de Studsvik, soit libérés pour recyclage sans restriction ou mise en décharge.

Situation actuelle du stockage final :

Pour les combustibles irradiés, le choix s'est porté en 2009 sur le site d'Östhammar, dans les environs de la centrale nucléaire de Forsmark. C'est là, à 500 m de profondeur, que le dépôt de déchets doit entrer en service en 2025. De très nombreux travaux de recherche et développement ont été menés dans un laboratoire souterrain sur un autre site dans un environnement rocheux similaire.

Il n'y a à l'heure actuelle pas de plans concrets pour les déchets de faible et moyenne activité à vie longue. La mise en service du site de stockage final ne doit pas intervenir avant 2045.

Il existe des sites de stockages en service pour les déchets de très faible à moyenne activité à vie courte.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Oskarshamn	en service	157 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur	Forsmark	en service	191 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur	Ringhals	en service	308 tML

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscines d'entreposage du site central d'entreposage à faible profondeur	Oskarshamn (CLAB)	en service, sera agrandi	4.676 tML
	Stockage final	Östhammar	Mise en service 2025	-
Combustibles irradiés de réacteurs de recherche	Piscine de refroidissement en réacteur	Studsvik	en service	0,08 tML
FMA-VL	Entreposage	Studsvik, Simpevarp/Oskarshamn	en service	>1.100 m3
	Stockage final	site non déterminé	mise en service 2045	-
FMA-VC	Entreposage en réacteur	Oskarshamn, Forsmark, Ringhals, Barsebäck	en service	? m3
	Entreposage à faible profondeur	Studsvik	en service	1.708 m3
	Entreposage à faible profondeur	Forsmark	en service	31.768 m3
TFA	Décharge	Forsmark	en service	3.929 m3
	Décharge	Oskarshamn	en service	7.346 m3
	Décharge	Forsmark	en service	2.410 m3
	Décharge	Studsvik	en service	1.151 m3

Ensemble des chiffres au 31.12.2007 tirés du rapport 2009 "Convention commune".

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

L'élément clé du concept de stockage final est l'efficacité des barrières techniques pendant plusieurs milliers d'années. Vu les conditions géologiques en Scandinavie, la seule implantation possible d'un dépôt final est dans des roches dures. Les roches dures sont fracturées et donc aquifères. Le confinement des radioéléments contenus dans les déchets ne pourra par conséquent être garanti à long terme que par un matériau extrêmement résistant à la corrosion. Le cuivre, jusqu'à présent réputé très résistant à la corrosion, doit être utilisé pour la fabrication des conteneurs de stockage pour les combustibles irradiés.

En 2009, l'Institut royal de technologie de Stockholm, a publié les résultats d'une étude mettant en évidence une évolution de la corrosion dans les conditions géochimique d'un stockage final fermé bien plus rapide que ce qu'indiquait l'état des connaissances. La corrosion traversante commencerait à apparaître déjà au bout d'un millier d'années. Ce qui impliquerait un relâchement à des échéances où même pour les radionucléides à vie moins longue la décroissance sera limitée.

Slovaquie

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a en République Slovaque, deux réacteurs en service sur chacun des sites de Bohunice et Mochovce.

Il y a trois réacteurs à l'arrêt sur le site de Bohunice.

Une usine pilote de bitumage et d'incinération est également arrêtée.

Stratégie de gestion des déchets :

- Entreposage des **combustibles irradiés** jusqu'à sept ans en piscine sur le site des réacteurs.
- Puis entreposage pendant 40 à 50 ans en conteneurs, sur le site des réacteurs.
- Le scénario de référence est le stockage final en formation géologique profonde. Mais les possibilités d'exportation des combustibles irradiés à l'étranger pour

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

stockage final ou retraitement (sans reprise des déchets), ou le recours à un site de stockage international ou régional sont également étudiées.

- Entreposage tampon **des déchets de faible et moyenne activité** dans les bâtiments réacteurs.
- Conditionnement en fonction du type de déchets.
- Stockage final à faible profondeur. Les déchets dépassant les spécifications techniques pour la réception sur ce site seront entreposés de façon prolongée sur le site des réacteurs. Ils seront stockés en formation géologique profonde.
- Les **déchets de très faible activité** devront être stockés dans un site de surface, ou libérés dans le domaine conventionnel.

Situation actuelle du stockage final :

Dans le cadre d'un programme de recherche, trois régions offrant cinq sites potentiellement adaptés à un stockage géologique profond, ont été identifiées il y a longtemps. Le programme de recherche a toutefois été abandonné en 2001, et en 2008, le gouvernement a présenté une nouvelle stratégie incluant également le stockage final. Rien n'indique, au cas où l'on opterait pour un stockage final en Slovaquie, si les recherches sur ces cinq sites se poursuivraient. A ce que l'on sait, aucun calendrier pour la suite des opérations n'a été arrêté.

Il y a un site de stockage à faible profondeur pour les déchets de faible et moyenne activité en service à Mochovce.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Par le passé, une quantité limitée de combustibles irradiés a été envoyée en Fédération de Russie pour y être retraitée. Ceci n'a donné lieu à aucun retour de déchets en République Slovaque.

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Bohunice, Mochovce	en service	Pas de données disponibles

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscines d'entreposage	Bohunice	en service	996 tML
HA	Stockage en réacteur	Bohunice	en service	167 cellules *
FMA-VL	Entreposage	?	?	50 m ³ ***
FMA liquides	Cuves d'entreposage en réacteur	Bohunice V-1, V-2, A-1	en service	5.087 m ³
FMA liquides	Cuves d'entreposage en réacteur	Mochovce	En service	2.003 m ³
FMA solides	Stockage en réacteur	Bohunice V-1, V-2, A-1	en service	5.712 m ³ + 389 pcs *
	Stockage en réacteur	Mochovce	en service	449 m ³
	Stockage de terres contaminées	Bohunice A-1	en service	6.819 m ³
	Stockage final à faible profondeur	près de Mochovce	en service	4.800 m ³ **
TFA	Stockage	pas d'indications	4.000 m ³ ***	

* Pas d'attribution de volumes à partir des données fournies.

** Déchets provenant des centrales, traités dans l'usine de conditionnement de Bohunice, avant stockage final. Les informations disponibles ne permettent pas de dire s'il y a à Mochovce d'autres déchets provenant de centrales.

Ensemble des chiffres au 31.12.2007, sauf

*** Tirés du "Sixième rapport sur la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés dans l'Union Européenne" (au 31.12.2004)

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

La gestion des combustibles irradiés en République Slovaque, n'est pas décidée au-delà de leur entreposage. Il est permis de supposer que ceci entrave la recherche d'un site de stockage définitif et la définition d'une stratégie de stockage final. A l'origine, la mise en service du site de stockage géologique était prévue à l'horizon 2037. Ceci est désormais reporté *sine die*. Même si l'option retraitement était adoptée, il faudra un site de stockage pour les déchets de haute activité ainsi produits.

La quantité et le type des questions posées par les autres pays dans le cadre de la troisième conférence de la "Convention commune" illustrent bien la confusion de la situation slovaque en ce qui concerne la gestion des combustibles.

Si le gouvernement slovaque devait intégrer le retraitement en Fédération de Russie dans son concept de gestion des déchets, outre les problèmes de sûreté de base (voir chapitre 3.1.1), il faudrait aussi prendre en compte le niveau de sûreté relativement faible des installations nucléaires en Fédération de Russie.

Le réacteur A-1 de Bohunice a été arrêté après deux accidents graves (niveau 4 de l'échelle INES). Le relâchement de radionucléides lié aux accidents est à l'origine d'une contamination importante des parties de bâtiment, de structures et de l'environnement.

Slovénie

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

En Slovénie, il y a un réacteur de puissance, exploité conjointement avec la Croatie (Krško), et un réacteur de recherche (Brinje) en service.

La mine d'uranium de Žirovski a été fermée en 1990.

Stratégie de gestion des déchets :

- Entreposage des **combustibles irradiés** en piscine sur le site du réacteur.
- Après arrêt du réacteur, transfert vers un entreposage à sec pour 35 ans.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Stockage final en formation géologique profonde en Slovénie, Croatie, ou dans un pays tiers.
- Les **combustibles irradiés du réacteur de recherche** doivent être renvoyés dans leur pays d'origine, les Etats-Unis.
- Traitement des **déchets de faible et moyenne activité** et conditionnement en conteneurs en acier sur le site des réacteurs, et dans une moindre mesure à l'étranger.
- Entreposage des déchets dans un dépôt sur le lieu de production.
- Stockage final.
- Les **déchets de très faible activité** sont libérés en fonction de leur utilisation.

Situation actuelle du stockage final :

La décision concernant la stratégie de stockage final des combustibles irradiés doit intervenir en 2020. Un site de stockage final doit entrer en service en 2065. Le cas échéant, les exportations interviendraient entre 2066 et 2070.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Krško	en service	323 tML
	Entreposage (sec)	Krško	en projet	-
Combustibles irradiés (recherche)	Piscine de refroidissement en réacteur	Brinje	en service	aucune
CI / HA	Stockage	Lieu non décidé	mise en service 2065	-
FMA	Stockage en réacteur	Krško	en service	2.209 m ^{3 1)}
	Entreposage	Brinje	en service	85 m ³

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
FMA-VC	Stockage final à faible profondeur	Krško	mise en service 2014	-
Déchets uranifères	Dépôt mines d'uranium	Žirovski	En réhabilitation	1,9·10 ⁶ m ^{3 1)}
	Dépôt de résidus du traitement de minerai d'uranium			7,21·10 ⁶ m ^{3 1)}

¹⁾ Données au 31.12.2009 tirées du rapport annuel 2009¹²

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Le réacteur de Krško est exploité conjointement avec la Croatie. Divergence d'intérêts et de responsabilité entre les deux Etats peuvent entraîner des problèmes au cours de l'élaboration de la stratégie de gestion des déchets, par exemple sur le financement de la gestion des déchets, ou la décision concernant l'implantation du site de stockage définitif.

Si le stockage final des combustibles irradiés est prévu, aucun effort de réalisation n'est visible.

Espagne

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a en Espagne huit réacteurs de puissance en service sur six sites.

Il y a une usine de fabrication de combustible à Salamanque, ainsi que le centre de recherches du CIEMAT, près de Madrid.

Il y a deux réacteurs de puissance et deux réacteurs de recherche à l'arrêt.

¹² Slovenian Nuclear Safety Administration: Annual Report 2009 on the Radiation and Nuclear Safety in the Republic of Slovenia

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Stratégie de gestion des déchets :

- Entreposage prolongé des **combustibles irradiés** dans les piscines d'entreposage externes ou dans les entrepôts de conteneurs [à sec] des centrales.
- Transfert dans un site d'entreposage central et stockage pendant plus de 60 ans.
- Stockage en formation géologique profonde. La réversibilité doit être assurées pendant une période donnée.
- Entreposage des **déchets de faible et moyenne activité** à vie longue dans un site de stockage central de surface en prévision, puis stockage ultérieur en formation géologique profonde.
- Conditionnement des déchets de faible et moyenne activité à vie courte sur le site des réacteurs ou du stockage final.
- Stockage au centre de stockage de surface d'El Cabril, près de Cordoue. La fin de la surveillance doit intervenir 300 ans après la fermeture du centre.
- Stockage des **déchets de très faible activité à vie courte** dans un centre de surface près de Cordoue, avec des exigences de sûreté réduites.
- Dépôt in-situ des déchets de très faible activité à vie longue dans les mines.

Situation actuelle du stockage final :

La décision concernant un centre de stockage pour les combustibles irradiés, les déchets de haute activité, ainsi que les déchets de moyenne activité à vie longue, a été ajournée. La raison invoquée est la lenteur du développement au niveau international.

Dans le passé, des études ont permis de conclure qu'il existait en Espagne des formations géologiques profondes en principe adaptées à un centre de stockage final. Ceci a été confirmé. Actuellement, les recherches se limitent à la possibilité de caractérisation de formations granitiques ou argileuses, en surface. Un concept de stockage doit être développé pour ces deux types de roches.

Des sites de stockage pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte et pour les déchets de très faible activité sont en service.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Les combustibles irradiés de la centrale de Santa María de Garoña (145 tML) ont été envoyés pour retraitement en Grande-Bretagne jusqu'en 1983, et ceux de Vandellós I en France (1.913 tML)¹³ jusqu'en 1994.

Le plutonium séparé est resté en France, et la propriété de l'uranium a été transférée à la compagnie de retraitement. Le retour des déchets vitrifiés produits en France est prévu à partir de 2014. Mais les spécifications techniques de ces colis n'ont pas encore été acceptées par les autorités espagnoles. Il n'y a pas non plus encore d'autorisation pour un conteneur de transport/stockage, et la construction d'un centre de stockage en Espagne a été retardée. Il n'y a pas d'indications sur le sort du plutonium et des déchets issus du retraitement en Grande-Bretagne.

Il y a trois installations de traitement de l'uranium aujourd'hui fermées. Une usine de traitement du minerai et une usine de concentration de l'uranium sont en cours de démantèlement, une autre usine de concentration a déjà été entièrement démantelée.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Cáceres	en service	994 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur	Tarragone	en service	1.312 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur	Valence	en service	598 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur	Burgos	en service	326 tML

¹³ Bernard Bigot, Administrateur Général, CEA, lettre à Henri Revol, Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire, datée du 10 novembre 2003

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

	Piscine de refroidissement en réacteur	Guadalajara	en service	296 tML
	Entreposage conteneur	Guadalajara	en service	923 tML
CI / HA / MA-VL	Entreposage (sec)	Valence	mise en service 2012	-
	Stockage final	Lieu non déterminé	mise en service 2050 ?	-
FMA	Stockage en réacteur	Cáceres	en service	1.684 m ³
	Stockage en réacteur	Tarragone	en service	3.981 m ³
	Stockage en réacteur	Valence	en service	1.784 m ³
	Stockage en réacteur	Burgos	en service	1.061 m ³
	Stockage en réacteur	Guadalajara	en service	690 m ³
	Stockage	Juzbado	en service	491 m ³
	Stockage	Madrid	en service	10 m ³
	Entreposage	Cordoue	en service	? m ³
	Stockage final en surface	Cordoue (El Cabril)	en service	55.988 m ³
TFA	Stockage final en surface	Córdoba	en service	? m ³
Déchets uranifères	Mines + terrils + bassins de décantation	Salamanque	en réhabilitation	80,3 millions de t
		Badajoz	arrêté + en phase de surveillance	6,6 millions de t
		Jaén	arrêté + en phase de surveillance	1,2 millions de t

Ensemble des chiffres au 31.12.2007 tirés du rapport 2009 "Convention commune".

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

En Espagne, la recherche d'un site de stockage et la décision relative au stockage final des combustibles irradiés et des déchets de haute activité ont été repoussées. A court terme, la seule option disponible pour la gestion de ces déchets est l'entreposage en surface.

La gestion à long terme des déchets de graphite provenant du démantèlement de Vandellós I n'est pas définie.

République Tchèque

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a en République Tchèque quatre réacteurs en service à Dukovany et deux à Temelin. La construction, déjà entamée, de deux tranches supplémentaires sur le site de Temelin est suspendue depuis octobre 2010.

De plus, il y a un réacteur de recherche, et deux petits assemblages critiques.

Il y a également une mine d'uranium et une usine de traitement du minerai en service.

Stratégie de gestion des déchets :

- La stratégie actuellement privilégiée pour les **combustibles irradiés** déchargés des réacteurs de puissance est l'entreposage temporaire de longue durée en conteneurs sur le site des réacteurs, et la mise en service au-delà de 2065 d'un site central de stockage géologique pour les combustibles irradiés et autres déchets radioactifs. On évoque aussi le retraitement à l'étranger et un site de stockage régional.
- Les **combustibles irradiés des réacteurs de recherche** sont retraités en Fédération de Russie, et les déchets de haute activité ainsi produits retournés.
- A ce stade, les **déchets de moyenne activité** solides ne sont pas conditionnés. Ils sont entreposés sur le site des réacteurs ou l'installation centrale BAPP à Dukovany. Les décisions relatives à leur gestion seront prises dans le cadre de la mise à l'arrêt des réacteurs.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Les **déchets de faible activité** solides non combustibles provenant de l'exploitation des réacteurs, sont compactés sur place, et provisoirement entreposés. Les déchets combustibles sont incinérés à l'extérieur. Les déchets sont envoyés au site de stockage définitif de faible profondeur de Dukovany.
- Les déchets radioactifs liquides sont entreposés en cuves sur le lieu de production. Ils sont ensuite immobilisés. S'ils répondent aux exigences radiologiques de stockage final, les déchets de faible et moyenne activité produits sont stockés à Dukovany.
- Les **déchets de très faible activité** sont libérés dans le domaine conventionnel si leur inventaire radioactif est inférieur aux limites fixées.
- Les **déchets de l'extraction d'uranium** sont stockés en surface sur le site même des installations (terrils et bassin de décantation). Ces déchets ne sont pas couverts par le droit nucléaire en République Tchèque.

Situation actuelle du stockage final :

La construction d'un centre de stockage dans le granit est prévue pour accueillir les combustibles irradiés et l'ensemble des déchets qui ne peuvent être stockés dans les sites de faible profondeur. Dans un premier temps, 30 sites potentiels, de par leurs caractéristiques géologiques, avaient été proposés. En raison de l'opposition locale, un moratoire jusqu'en 2009 avait été décrété. A partir de 2010, les recherches géologiques doivent commencer sur sept sites. En 2015, elles se limiteront à deux sites. L'exploitation devrait intervenir après 2065, après la décision définitive sur le choix de l'implantation.

Un site pour le stockage des déchets de faible et moyenne activité est en exploitation. Certaines catégories de déchets de moyenne activité ne peuvent y être stockées, et il faudra aussi décider de l'implantation d'un site de stockage.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
	Piscine de refroidissement en réacteur	Dukovany	en service	284 tML

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Combustibles irradiés	Entreposage (sec)	Dukovany	plein	603 tML
	Entreposage (sec)	Dukovany	en service, sera agrandi	80 tML
	Piscine de refroidissement en réacteur	Temelin	en service	204 tML
Combustibles irradiés de réacteurs de recherche	Piscine de refroidissement en réacteur	Řež	en service	32 éléments
	Piscines	Řež	en service	aucun élément
HA	Piscine de refroidissement en réacteur	Řež	en service	vide
CI / HA	Stockage final	Site pas encore déterminé	Mise en service après 2065	-
FMA liquides	Cuves d'entreposage en réacteur	Dukovany	en service	2.111 m ³
	Cuves d'entreposage en réacteur	Temelin	en service	309 m ³
	Cuves d'entreposage en réacteur	Řež	en service	210,5 m ³
FMA solides	Stockage en réacteur	Dukovany	en service	507 Mg * 40 futs *
	Stockage en réacteur	Temelin	en service	119 Mg * 2,6 m ³
	Stockage en réacteur	Řež	en service	837 m ³

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
FMA solide	Stockage final à faible profondeur	Dukovany	en service	5.930 m ³
	Stockage final à faible profondeur	Litoměřice	n'accepte plus les déchets des installations nucléaires	7.300 m ³
	Stockage final à faible profondeur	Beroun	fermé	330 m ³
TFA	Pas d'indication sur les quantités et le sort des déchets libérés			
Déchets uranifères	Terrils + bassins de décantation	Stráž, Dolní Rožínka	en réhabilitation	? m ³

Ensemble des chiffres au 31.12.2007, d'après le rapport pour la "Convention commune" 2009.

* Les informations disponibles ne permettent pas d'affecter des volumes.

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Les combustibles irradiés devront être entreposés pendant une très longue période, dans la mesure où leur évacuation dans un site de stockage n'est pas prévue avant 2065. On ne peut prédire dans quel état sera alors le combustible, et quel sera son potentiel de risque.

Hongrie

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a quatre réacteurs en service à Paks.

Il y a en plus un réacteur de recherche et de formation à Budapest.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Stratégie de gestion des déchets :

- Entreposage pour le refroidissement des **combustibles irradiés** dans la piscine d'entreposage des réacteurs.
- Puis entreposage près du site, dans une installation d'entreposage à sec, modulaire.
- Il n'y a pas encore de décision concernant le retraitement ou le stockage direct. Le scénario de référence est toutefois le stockage final direct.
- Entreposage des **combustibles irradiés de recherche** sur site.
- Trois options de gestion sont actuellement en discussion : le retour dans le pays d'origine (Fédération de Russie), gestion conjointe avec les combustibles de Paks, ou entreposage à long terme sur site à Budapest.
- Les **déchets de faible et moyenne activité** liquides sont entreposés dans des cuves sur le lieu de production. La nécessité de les conditionner sera déterminée en fonction des besoins en capacité de stockage. Une partie au moins de ces déchets ne sera conditionnée que dans le cadre du déclassement des réacteurs.
- Les déchets de faible et moyenne activité solides sont traités sur le site de production, et entreposés, tant que la capacité le permet. Un entreposage supplémentaire sera exploité sur le site du futur centre de stockage de surface. L'installation de stockage final restera opérationnelle jusqu'à la fin du déclassement de l'ensemble des réacteurs.
- En Hongrie, les **déchets de très faible activité** sont libérés dans le domaine conventionnel.

Situation actuelle du stockage final :

Un programme de stockage définitif des déchets de haute activité (y compris les combustibles irradiés) et des déchets à vie longue en formation géologique profonde se poursuit depuis 1995. La formation argileuse de Boda, à Mecsek-Höhenzug, a été identifiée comme région pouvant accueillir un centre de stockage final. Un laboratoire souterrain doit y être implanté. La mise en service du centre de stockage est prévue pour 2064.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

En 1976, un site de surface pour le stockage des déchets de faible et moyenne activité a été mis en service à Püspökszilágy. Dans une faible mesure, des déchets de fonctionnement de Paks y ont également été stockés. Mais il est en fait destiné aux déchets radioactifs autres que ceux de l'industrie électronucléaire. Un dépôt pour le stockage des déchets de faible et moyenne activité de l'industrie nucléaire est en construction dans des roches dures, près de Bábaapáti et doit entrer en service en 2012.

Installations de traitement des déchets et quantités de déchets existants :

En 1998, 2.331 éléments de combustible irradié, soit 273 tML, avaient été envoyés en Fédération de Russie / URSS, pour y être retraités. On ne prévoit pas le retour des déchets produits par leur retraitement.

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
Combustibles irradiés	Piscine de refroidissement en réacteur	Paks	en service	223,2 tML
	Entreposage (sec)	Paks	en service, sera agrandi	719,7 tML
HA	Stockage en réacteur	Paks	en service	92,4 m ³
Combustibles irradiés (recherche)	Piscine de refroidissement en réacteur	Budapest	en service	0,37 tML
CI / HA	Stockage final	Mecsek-Höhenzug	Mise en service 2064	-
FMA-VL liquide	Cuves d'entreposage en réacteur	Paks	en service	975 m ³
FMA & HA liquides	Cuves d'entreposage en réacteur	Paks	en service	150 m ³
FMA liquides	Cuves d'entreposage en réacteur	Paks	en service	5.826 m ³

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Déchets	Type de stockage	Lieu de stockage	Etat	Quantités stockées
FMA	Stockage en réacteur	Paks	en service	1.687 m ³
	Entreposage	Bátaapáti	en service	320 m ³
	Stockage final à faible profondeur	Püspökszilágy	en service pour les déchets institutionnelsxx	5.040 m ³
	Stockage final à faible profondeur	Bátaapáti	mise en service 2012	-
TFA	Pas de données sur le devenir et les quantités de déchets libérés			
Déchets uranifères	Terrils + bassins de décantation	Pecs	en réhabilitation	29,6·10 ⁶ m ³

Données sur les quantités de déchets liquides au 31.12.2007, tirées du rapport 2009 de la "Convention commune".

Données sur les quantités de tous les autres déchets au 01.01.2010¹⁴

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

68 conteneurs de stockage renferment les 30 éléments combustibles endommagés lors d'un grave accident survenu en 2003 à Paks.

Les exigences de sûreté (pour l'entreposage par exemple) sont clairement moins élevées que dans les pays occidentaux (inondations, entreposage à long terme des déchets liquides par exemple).

Le site de stockage de surface en service, aujourd'hui presque plein, a accepté, au moins dans les premières années, des déchets sans conditions d'aucune sorte. C'est la raison pour laquelle on procède à la réouverture de zones pour reprendre les déchets. Ceux-ci retourneront en stockage, après traitement et amélioration des structures du site de stockage.

¹⁴ Public Limited Company for Radioactive Waste Management: 10th Medium and Long-Term Plan of Public Limited Company for Radioactive Waste Management (RHK Kft., Mai 2010)

4.2 Stratégies en Fédération de Russie et aux Etats-Unis

Fédération de Russie

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Il y a en Fédération de Russie, 32 réacteurs de puissance en service, et une multitude d'installations pour les approvisionner. Dans les années à venir, la capacité de production installée, comme les capacités d'extraction et de traitement de l'uranium, doivent augmenter.

L'exploitation d'usines de retraitement, avec plus de 90 installations, est source d'une importante production de déchets.

Il y a 23 réacteurs de recherche en service.

Stratégie de gestion des déchets :

Les combustibles irradiés sont dans un premier temps entreposés en piscine dans le réacteur pendant 3 à 5 ans. En fonction du type de réacteurs, les combustibles sont alors retraités ou entreposés. L'exploitation des installations d'entreposage se fait en piscines de façon centralisée ou sur le site des réacteurs. A l'avenir, le recours à l'entreposage à sec doit s'intensifier.

Il n'est pas prévu de stockage final des combustibles irradiés. On n'a pas connaissance de recherche intensive en ce sens. Ceci est également valable pour les déchets de haute activité et autres déchets du retraitement.

Situation actuelle du stockage final :

Par le passé, les déchets radioactifs étaient injectés dans des puits. Sous la pression croissante de protestations publiques ainsi que de critiques de l'AIEA face à l'absence de système progressif de barrières, cette technique a été abandonnée.

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

Le retraitement des combustibles des réacteurs de puissance russes et étrangers a lieu à Mayak. Cette usine a par le passé été essentiellement utilisée à des fins militaires. C'est là par exemple qu'a été produit le plutonium de la première bombe atomique soviétique. Aujourd'hui certaines parties d'installations ou équipements ont encore une utilisation militaire. Il n'existe par conséquent pas de distinction claire entre les secteurs civil et militaire.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Les résultats d'une étude scientifique menée par les gouvernements russes et norvégiens en 1997 montraient que depuis 1948, Mayak a relâché dans l'environnement au total $8,9 \cdot 10^{18}$ Bq en isotopes radioactifs Sr-90 et Cs-137.

L'usine a subi plusieurs accidents graves, qui ont conduit à une forte contamination des environs.

- En 1957, une cuve renfermant des déchets du retraitement a explosé, après avoir perdu son refroidissement pendant une durée prolongée. Il s'agit d'un accident qui aurait été classé 6 sur l'échelle INES.
- En 1967, pendant une période de sécheresse, un lac présent sur le site a été asséché, alors qu'il servait de décharge à ciel ouvert en recueillant les déchets liquides. Les sédiments contaminés du lac ont été dispersés dans l'environnement par une tornade.
- En 2007, une cuve d'entreposage des déchets nucléaires de l'usine de retraitement a perdu son étanchéité. Les déchets liquides se sont échappés de la cuve qui était, semble-t-il, à l'air libre, et se sont répandus sur la chaussée. Cet événement montre que même les mesures de sécurité les plus élémentaires comme un bac de rétention n'existent pas à Mayak.
- En août 2010, les violents incendies de forêts et de tourbières étaient si proches des installations que les autorités ont déclaré l'état d'urgence. Par chance, l'installation elle-même n'a pas été touchée; mais les environs étant contaminés de façon relativement importantes par les accidents et autres rejets, des substances radioactives ont sans doute été de nouveau mobilisées par ces incendies. De façon générale, on peut constater qu'il n'y a pas en Fédération de Russie de concept cohérent de gestion des déchets de haute activité qui serait résolument suivi.

USA

Réacteurs et autres producteurs de déchets primaires :

Aux Etats-Unis, il y 104 réacteurs de puissance en service et une multitude d'installations servant à faire fonctionner ces réacteurs.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Autre source importante de déchets, l'usine de retraitement civile de West Valley, aujourd'hui à l'arrêt.

Il y a également de grosses installations de recherche civiles et militaires.

Stratégie de gestion des déchets :

La gestion des déchets des industries nucléaires civiles et militaires est en grande partie séparée. Nous ne traiterons ici que la gestion des déchets à dominante civile.

Les combustibles irradiés des réacteurs de puissance sont entreposés en piscine sur le site des réacteurs. Pour la moitié environ des réacteurs, il existe en plus des entreposages sur site indépendants du fonctionnement du réacteur. Un futur accroissement des capacités de stockage doit privilégier le stockage à sec en conteneurs métalliques à l'intérieur de silos en béton ou autre suremballage.

Les combustibles irradiés provenant des réacteurs de recherche aux Etats-Unis et à l'étranger (dont des Etats membres de l'Union Européenne) sont placés dans des sites d'entreposage centralisés à Savannah River et au Idaho National Laboratory.

Les combustibles irradiés provenant des réacteurs de puissance (y compris des combustibles MOX contenant du plutonium militaire en vertu des accords de désarmement conclus avec la Fédération de Russie) et de réacteurs de recherche doivent être stockés dans un dépôt final en formation géologique profonde. Le retraitement civil des combustibles irradiés n'est pas envisagé aujourd'hui. Le gouvernement actuel a mis en place une commission (Blue Ribbon Panel) qui doit réévaluer les différentes options de gestion des déchets et rendre un rapport en 2011.

Les déchets de haute activité provenant du retraitement civil passé seront accueillis sur le même site de stockage définitif que les combustibles irradiés.

Ce dépôt devra rester ouvert pendant plus de 100 ans à partir de sa mise en service, ce qui correspond à environ 50 ans d'accueil des déchets puis 50 ans supplémentaire pendant lesquels le stockage doit rester accessible.

La catégorie des déchets de moyenne activité n'existe pas aux Etats-Unis, mais il y a par contre quatre catégories pour les déchets de faible activité. Tous les déchets de faible activité doivent être conditionnés. L'entreposage se poursuit jusqu'au transfert de quantités suffisamment importantes vers le stockage final, en général sur le site

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

de production. Les catégories de déchets comprenant les inventaires de radionucléides les plus élevés et à vie plus longue seront entreposées pendant une durée supérieure, pas encore définie. Le type de stockage final n'est pas encore arrêté. Les autres déchets de faible activité seront stockés à faible profondeur (jusqu'à 30 m). Les déchets de très faible activité sont aussi accueillis dans des dépôts d'autres déchets dangereux.

Situation actuelle du stockage final :

Depuis 1987, sur décision du Congrès américain, le site de Yucca Mountain était exploré et élargi afin de servir de site de stockage final des combustibles irradiés et des déchets de haute activité. Au printemps 2010, le gouvernement américain a décidé de ne pas poursuivre ce projet et de remblayer le site.

Les déchets transuraniens provenant de la recherche, du développement et de la production d'armes nucléaires sont depuis 1999 entreposés ou stockés définitivement à 655 m de profondeur dans la Waste Isolation Pilot Plant (WIPP).

Il y a aujourd'hui trois sites de stockage final de faible profondeur en service pour les déchets de faible activité.

Problèmes particuliers liés à la gestion des déchets :

La recherche d'un site pour l'implantation d'un site de stockage pour les déchets de haute activité doit recommencer. Les autorités se sont accrochées à Yucca Mountain pendant des décennies, malgré des doutes sur la sûreté du site, des trajets globalement très importants et des problèmes socio-politiques.

Au cours des dernières années, il y a eu de nouvelles discussions sur la stabilité des formations salines ou la capacité de rétention en cas de relâchement des radionucléides, à propos du stockage final de longue date des déchets militaires dans WIPP.

Un des trois sites de stockage pour les déchets de faible activité refuse depuis le mois de juillet 2008 d'accueillir les déchets provenant de trois Etats américains. Les producteurs de déchets de ces Etats doivent mettre en place des méthodes d'entreposage à long terme. La procédure d'autorisation pour un site de stockage final à faible profondeur est en cours. Quatre sites de faible profondeur ont déjà été fermés parce qu'ils ne parvenaient pas à se conformer aux prescriptions environnementales et conditions d'exploitation.

5. Synthèse

Fin 2007, le volume de déchets radioactifs en stockage final dans les 27 pays de l'Union Européenne représentait plus de 2.000.000 m³ (hors résidus des mines et du traitement de l'uranium), les pays en détenant le plus étant la Grande-Bretagne et la France.

Sur les 16 Etats membres producteurs d'énergie nucléaire, seuls 7 disposent d'un ou plusieurs sites de stockage définitif en exploitation pour les déchets de faible ou de faible et moyenne activité :

- Dans deux pays pour les déchets provenant des centrales (Finlande, République Tchèque);
- Dans un pays pour les déchets de faible activité (Grande-Bretagne);
- Dans quatre pays pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (France, Suède, Espagne, Slovaquie).

Il n'existe pas de site de stockage définitif pour les déchets de haute activité et les combustibles irradiés.

Fin 2009, les quantités de déchets entreposés dans les pays de l'Union Européenne s'établissaient comme suit¹⁵ :

- Environ 250.000 m³ de déchets de très faible activité (mais on notera toutefois que la plupart des Etats membres n'ont communiqué aucun chiffre à ce sujet dans les rapports de la "Convention commune");
- Plus de 550.000 m³ de déchets de faible et moyenne activité (pour la plupart desquels il n'y a, selon la Commission Européenne, pas de perspective de stockage final actuellement);

¹⁵ Estimations basées sur les données fournies dans les rapports nationaux 2009 et 2007 publiés dans le cadre de la "Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs"

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

- Environ 35.000 m³ de déchets de haute activité (pour lesquels, selon la Commission Européenne, il n'y a actuellement pas de perspective de stockage final);
- Environ 48.000 tML de combustible.

D'ici fin 2020, il y en aura environ 2.000.000 m³ supplémentaires.

Une grande partie de ces déchets doit être entreposée pendant des décennies. Dans de nombreux cas les prescriptions techniques de sûreté sont discutables. Aux risques engendrés par la radioactivité elle-même, viennent s'ajouter les risques liés au terrorisme ou aux conditions météo extrêmes.

Il apparaît de plus en plus que même l'option qui semble la plus sûre pour les déchets - le stockage définitif en formation géologique profonde - pose des problèmes. Les risques apparus sur le site de stockage d'Asse, en Allemagne, de libération dans la biosphère des substances radioactives stockées, n'en sont qu'un exemple. Dans ce cas-là, la sûreté prétendue à long terme aura atteint sa limite à 40 ans.

Les technologies comme le retraitement et la transmutation ne sont pas une issue. Dans l'état actuel des connaissances, on ne pourra se passer d'un stockage définitif dont il faut apporter la démonstration de la sûreté à long terme. La multiplicité des opérations liées à la gestion des déchets nucléaires accroît les risques d'incident et d'accident, l'exposition des travailleurs et des populations, et les possibilités de détournement à des fins militaires. On ne pourra recourir à la transmutation avant cinquante ans au mieux, si cela se fait un jour. D'ici là, bien plus de 1.000.000 m³ de déchets nucléaires qui devraient être ainsi traités se seront accumulés, dont une grande quantité de déchets hautement radioactifs déjà conditionnés et non-traitables (par exemple les déchets vitrifiés). On voit par conséquent que pour les Etats membres dans leur ensemble, ceci ne pourra pas apporter de réponse au problème auquel on est dès à présent confronté.

De plus, la plupart des Etats qui ont opté pour le retraitement comme mode de gestion des déchets nucléaires ne le pratiquent pas dans leur propre pays, mais exportent ce risque. Le retraitement en dehors de l'Union Européenne, en Fédération de Russie en particulier, doit immédiatement être arrêté. Les exigences de sûreté y sont parfois encore plus insuffisantes qu'en France ou en Grande-Bretagne.

Gestion des déchets radioactifs
dans l'UE

Conclusion :

Même après cinquante ans de recours à l'énergie nucléaire, aucun pays n'a encore développé, adopté et mis en œuvre une stratégie de gestion définitive pour l'ensemble des catégories de déchets nucléaires. Ce n'est pas non plus par une directive sur la gestion des déchets radioactifs dans l'Union Européenne que l'on pourra résoudre les problèmes associés à la gestion des déchets.