



# **Les politiques de gestion des déchets nucléaires dans le monde**

Décider aujourd'hui  
en laissant des marges de manœuvre pour demain

Mémoire de troisième année du Corps des Mines

Florent Massou et Antoine Gras

1<sup>er</sup> juillet 2005

## **REMERCIEMENTS**

Nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont bien voulu nous accorder un peu de leur temps pour répondre à nos questions. En France, en Finlande et en Allemagne, elles nous ont fourni la matière première essentielle pour ce travail.

La DGEMP a joué un grand rôle pour organiser nos missions à l'étranger et pour répondre à nos interrogations techniques. Nous sommes spécialement reconnaissants à MM. Vincent et Locufier pour leur aide et leur disponibilité.

Enfin, nous tenons à exprimer toute notre gratitude à notre pilote, Mme Gauthier qui a su nous redonner le goût d'avancer dans les passages difficiles et nous faire prendre de la distance avec le sujet quand il le fallait.

# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>Résumé</b>	<b>7</b>
<b>I. Inventaire à la Prévert des déchets nucléaires</b>	<b>10</b>
<b>A. La définition des déchets nucléaires</b>	<b>10</b>
1. La définition de l'ANDRA	10
2. La notion de déchet : une notion technico-économique	10
3. Les différents types de déchets radioactifs	10
4. Distinction entre les radionucléides artificiels et naturels	12
5. Les différents producteurs de déchets	12
<b>B. Les déchets des centrales nucléaires</b>	<b>12</b>
1. La production d'électricité nucléaire	12
2. Le cycle du combustible : ouvert ou fermé	13
3. Les déchets produits par l'industrie nucléaire	17
<b>C. Notre sujet de réflexion : les déchets HAVL</b>	<b>17</b>
1. Les déchets HAVL : un aspect transhistorique	17
2. La France, la Finlande et l'Allemagne	18
3. Ordres de grandeur	18
<b>II. Le nécessaire traitement politique des déchets nucléaires</b>	<b>19</b>
<b>A. Un héritage historique</b>	<b>19</b>
1. Les déchets HAVL, éléments techniques issus des politiques publiques	19
2. Une irréversibilité technique, qui aboutit à une impasse	20
3. Importance de la crédibilité des acteurs	21
<b>B. Les trois défis politiques des déchets</b>	<b>21</b>
1. Les limites du discours scientifique : un défi pour la raison	22
2. Les intérêts nationaux face aux intérêts locaux : un défi pour la démocratie	22
3. La société civile dans le débat : un défi pour la représentativité	23
<b>C. Comment reposer le problème</b>	<b>24</b>
1. La mise en politique en France	24
2. Les options finlandaise et allemande	24
<b>III. La guerre des trois axes n'aura pas lieu</b>	<b>25</b>
<b>A. L'entreposage</b>	<b>25</b>
1. Description technique	25
2. Une solution peu coûteuse	27
3. Le dilemme de la sécurité	27
4. Impact social	28
5. Une solution nécessaire mais pas ultime	29
<b>B. La séparation-transmutation</b>	<b>29</b>
1. Le rêve de l'alchimiste	29
2. Quel problème est-on en train de résoudre ?	31
<b>C. Le stockage</b>	<b>33</b>
1. Concept, description technique	33
2. La guerre des prix	35
3. Entre impact social et sûreté, le dilemme de la réversibilité	36
4. La voie de référence	37
<b>D. Comment décider sur ces 3 options : ce sera une décision politique</b>	<b>38</b>
1. Qu'est-ce que décider sur ces 3 options	38
2. De quels critères d'évaluation dispose-t-on ?	38

<b>E.</b>	<b>L'approche française, un choix de gestion</b>	<b>39</b>
1.	Des variables locales et nationales qui ne sont pas séparables	39
2.	Découpler les décisions de principe et de site permet d'avancer par étapes	39
<b>IV.</b>	<b><i>Implantation d'un stockage géologique : regards sur les expériences allemande et finlandaise</i></b>	<b>40</b>
<b>A.</b>	<b>La procédure de choix du site</b>	<b>40</b>
1.	Tout le monde en parle	40
2.	Quels sont les objectifs	41
<b>B.</b>	<b>Les obstacles</b>	<b>42</b>
1.	Critères géologiques	42
2.	Opinion publique générale	42
3.	Oppositions locales	42
4.	Opposition au nucléaire	43
5.	Financement de la construction	44
<b>C.</b>	<b>L'acceptabilité sociale</b>	<b>44</b>
1.	Une notion floue et parfois dangereuse	44
2.	Recherche dans la sphère civile des problèmes du débat	45
3.	Recherche à l'interface des sphères techniques et civiles des problèmes du débat	46
4.	Mise en pratique des modèles, regard pragmatique	46
<b>D.</b>	<b>Des clefs pour un succès</b>	<b>47</b>
1.	Clarté des étapes et des responsabilités	47
2.	Un levier pour la communauté	48
3.	L'information	48
4.	L'accompagnement régional	49
<b>V.</b>	<b><i>Le financement des charges futures</i></b>	<b>50</b>
<b>A.</b>	<b>Les enjeux</b>	<b>50</b>
1.	Comment évaluer	50
2.	Qui paie, comment assurer la disponibilité des fonds	51
<b>B.</b>	<b>Dispositifs en Allemagne et Finlande</b>	<b>51</b>
1.	Fonds externe en Finlande	51
2.	Provisions en Allemagne	52
<b>C.</b>	<b>Schizophrénie française</b>	<b>52</b>
<b>D.</b>	<b>Des clés pour un système efficace</b>	<b>53</b>
<b>VI.</b>	<b><i>Conclusion et recommandations</i></b>	<b>54</b>
	<b><i>Annexe 1 : monographie sur l'Allemagne</i></b>	<b>56</b>
<b>A.</b>	<b>Géographie des déchets</b>	<b>56</b>
<b>B.</b>	<b>Echelle historique</b>	<b>56</b>
<b>C.</b>	<b>Schéma des acteurs</b>	<b>57</b>
<b>D.</b>	<b>Politique énergétique</b>	<b>58</b>
<b>E.</b>	<b>Solutions envisagées</b>	<b>59</b>
<b>F.</b>	<b>Site de Gorleben</b>	<b>59</b>
<b>G.</b>	<b>Rapport AKend</b>	<b>60</b>
	<b><i>Annexe 2 : monographie sur la Finlande (mission du 11 au 15 avril 2005)</i></b>	<b>62</b>
<b>A.</b>	<b>L'énergie nucléaire en Finlande</b>	<b>62</b>
<b>B.</b>	<b>L'organisation du secteur</b>	<b>63</b>

<b>C. Histoire de la gestion des combustibles usés en Finlande</b>	<b>63</b>
<b>D. La sélection du site pour le stockage géologique</b>	<b>64</b>
1. le concept de Decision in Principle (DiP)	64
2. l'Environmental Impact Assessment (EIA)	65
3. le choix du site d'Olkiluoto :	66
4. les clés du succès finlandais	66
<b><i>Annexe 3 : La radioactivité</i></b>	<b>67</b>
<b>A. L'émission radioactive</b>	<b>67</b>
<b>B. Les unités de mesure de la radioactivité</b>	<b>67</b>
<b>C. Dose maximale autorisée</b>	<b>68</b>
<b><i>Bibliographie</i></b>	<b>70</b>
<b><i>Personnes rencontrées</i></b>	<b>73</b>

## **Introduction**

Avant de commencer le voyage dans l'espace et dans le temps des déchets nucléaires, effectuons un petit détour par le monde de l'héroïque fantaisie, genre littéraire dominé par Tolkien et son œuvre majeure : « le Seigneur des Anneaux ».

Dans cette épopée qui se déroule dans le monde imaginaire de la Terre du Milieu, le héros Frodon doit faire disparaître un anneau maléfique. Cet Anneau, forgé lors de la préhistoire de la Terre du Milieu par Sauron, l'Empereur du Mal, donne un pouvoir terrifiant à celui qui le passe à son doigt. Mais il corrompt l'âme de son possesseur jusqu'à la rendre aussi noire que celle de Sauron. Cet Anneau, égaré pendant plusieurs milliers d'années, a rejoint le monde des vivants lorsque l'oncle de Frodon l'a découvert dans une grotte. Sauron, qui menace toujours le monde, souhaite récupérer l'Anneau pour étendre son pouvoir sur toute la Terre du Milieu.

Il lance donc ses plus fidèles serviteurs à la recherche de Frodon. Celui-ci, entouré par un magicien et plusieurs guerriers, doit prendre une décision sur ce qui sera fait de l'Anneau. La lecture des grimoires leur apprend qu'il n'existe qu'une seule manière de détruire définitivement l'Anneau : le jeter là où il a été forgé, dans le plus grand volcan de la Terre du Milieu. Cette entreprise est très risquée, et plusieurs guerriers sont donc d'avis de simplement garder l'Anneau pour l'isoler. Le livre raconte la longue épopée qui aboutira à faire disparaître l'Anneau dans la lave du volcan.

Ce livre, adapté au cinéma, a été terminé en 1949 : l'auteur pouvait donc difficilement avoir à l'esprit les problèmes des déchets nucléaires. Pourtant, nombre des ressorts dramatiques du livre sont identiques à ceux qui font des déchets nucléaires un sujet aussi particulier parmi les préoccupations de la société.

Tout d'abord, une partie de l'intensité tragique du livre provient des extraordinaires coïncidences qui mènent à la résurgence de l'Anneau dans la « biosphère ». L'auteur fait sentir au lecteur que l'Anneau étant doué d'une volonté propre, c'était de toute façon inévitable. C'est le même ressort qui nous pousse à imaginer des scénarios catastrophes autour d'un stockage géologique de déchets nucléaires.

Un second point dramatique est le caractère infinitésimal de la taille de l'Anneau en comparaison de son pouvoir destructeur. Au contraire, sa petitesse fait sa force : on peut le cacher, l'oublier, mais il peut s'infiltrer, remonter à la surface. Là encore, la relation avec les déchets HAVL, dont le volume n'occupe qu'une piscine olympique mais qui serait susceptible de contaminer une région entière est évidente.

Le caractère corrompateur de l'Anneau joue un rôle essentiel : c'est un effet invisible, imperceptible, mais jour après jour, il modifie l'âme de la personne qui le porte. L'Anneau peut même modifier l'aspect corporel de la personne qui le porte, le faisant « muter » en une créature hybride. L'Anneau agit donc avec des effets très similaires à ceux de la radioactivité, tels qu'ils sont fantasmés par le public.

Enfin, l'indestructibilité de l'Anneau est le ressort essentiel de l'intrigue. C'est parce qu'il n'existe aucune méthode pour le détruire ou pour le confiner éternellement qu'il faut aller le détruire dans le volcan. On peut y voir un parallèle avec la transmutation : c'est en replaçant les déchets dans les réacteurs nucléaires qui les ont créés qu'on espère les détruire.

Nous proposons dans ce mémoire de suivre le chemin de Frodon, pour explorer les voies possibles, depuis l'entreposage jusqu'au volcan de la transmutation. Nous ferons des détours par l'Allemagne et la Finlande pour voir comment le problème y est traité.

## **Résumé**

A l'image de l'anneau qui hante les romans de Tolkien, les déchets nucléaires paraissent insaisissables, dotés d'une volonté propre de nuire et pratiquement indestructibles. Leur gestion prend des airs d'épopée douloureuse. Le monde attend le Frodon qui parviendra à détruire l'objet du mal en le jetant dans le volcan il fut créé.

Notre étude s'est centrée sur les déchets haute activité vie longue. Par leur caractère transhistorique, leur haute toxicité et les réflexions qu'ils imposent à notre société, ils constituent le cœur de la question des déchets nucléaires. Afin d'éclairer la question française qui revient sous les feux de l'actualité avec l'échéance de la loi Bataille en 2006, nous avons étudié particulièrement deux pays, la Finlande et l'Allemagne : le premier est toujours donné en exemple, nous avons voulu vérifier les mythes qui l'entourent ; le deuxième vient de décider de sortir du nucléaire, nous voulions comprendre comment cela impactait leur gestion des déchets.

Un héritage historique fort entoure le problème des déchets et le lie fortement à la sphère politique. Les décisions de développement d'un parc nucléaire ou de mise en place d'une filière de retraitement ont lié, dès leur acte de naissance, les déchets aux politiques publiques. D'autre part, leur gestion représente un certain nombre de défis propres qui ne trouvent pas de réponse dans l'univers technique.

Le premier défi est lancé à la science. L'échelle de temps de vie des déchets rend illusoire tout pouvoir déterministe sur le devenir des solutions envisagées. Le risque n'est pas quantifiable car les probabilités d'occurrence de certains événements ne peuvent être connues (intrusions, séismes...). Un autre argument d'origine métaphysique s'oppose à la science. Dans l'imaginaire collectif, la durée de vie des déchets est assimilée à l'infini et l'homme fini ne peut pas maîtriser l'infini.

Le deuxième défi est lancé à la démocratie. Gérer les déchets nucléaires de manière centralisée et localisée est profondément justifiable, étant donné la toxicité et les faibles volumes. Il est en même temps fondamentalement inéquitable car il fait porter le poids de la nation sur l'épaule d'un petit nombre. Réconcilier cet intérêt national avec la diversité des intérêts locaux est un challenge considérable pour nos modes de décision.

Le dernier défi est celui de la représentativité. En voulant exprimer ses craintes ou ses opinions, la société civile s'est invitée au fil du temps à la table de discussion où elle n'avait pas été pas conviée. Touchant au cœur même de notre système de représentation, cette intrusion met en branle notre organisation démocratique. Seul un traitement politique a la légitimité de trancher sur un tel sujet où aucune optimisation socio-technico-économique ne peut fonder la décision.

L'approche technique qui a prévalu pendant de longues années était donc vouée à l'échec de par l'essence politique des questions de déchets nucléaires. Les conflits qui ont opposé technocrates et population à la fin des années 1980 en France en sont le témoignage. Ces affrontements ont déclenché une mise en politique des déchets qui visait à redonner du crédit au processus de décision. La France a réouvert les possibles en relançant des voies de recherche oubliées. L'Allemagne et la Finlande ont focalisé leur traitement politique sur le processus de choix du site de stockage géologique.

La France est à l'heure du bilan après les quinze années de recherche programmées par la loi Bataille de 1991. Si les trois axes (Séparation-Transmutation, Stockage géologique, Entreposage de longue durée) sont bien complémentaires, ils ne remplissent pas le même rôle dans une politique de gestion.

L'entreposage est absolument nécessaire pour des raisons de souplesse dans l'aval du cycle. Sa réalisation technique est désormais acquise. La confiance que nous lui accordons est

coextensive à celle que nous accordons à notre société. A court terme, elle nous semble possible ; à long terme, elle est tout simplement impensable.

Le stockage géologique apparaît aujourd'hui comme la solution de référence si nous voulons que notre société règle ses problèmes et ne lègue à nos descendants que la possibilité d'avaliser nos choix ou de mieux faire. La réversibilité, demande morale de la société, permet en définitive de laisser le choix aux générations futures. Le stockage géologique n'est pour nous qu'un entreposage avec option. L'option pour le futur de choisir la voie la plus sûre.

La transmutation n'a pas encore obtenu de résultats très probants. Cependant, elle laisse ouverte la porte de l'imaginaire et la porte du progrès. Cet impact dans les esprits est au moins aussi important que la portée scientifique de ses découvertes.

La décision prise en 2006 ne sera pas guidée par une optimisation technico-économique de la gestion. Chaque axe pourra apporter des éléments de réponses aux questions techniques et morales de la société. Séparer un choix de filière de gestion et un choix de site pour la mettre en œuvre semble bien délicat. Un seul laboratoire géologique existe à Bure, ce qui fera nécessairement remonter des considérations locales dans le débat général. Cependant, il nous paraît bon de procéder par étapes pour afficher une transparence nécessaire à toutes les échéances du processus.

La procédure de choix d'un site pour le stockage géologique est en soi un objet potentiel de polémique. Il déplace la question des déchets d'une controverse technique à une controverse sociale avec les mêmes écueils possibles. Si la technocratie laisse sa place à la sociocratie, la gestion effective des déchets sera de nouveau la grande perdante.

La procédure de choix d'un site doit répondre aux questions fondamentales de la gestion des déchets. Le premier objectif est géologique, la roche devant être adéquate. La décision doit aussi apparaître légitime aux yeux des acteurs et doit répondre au problème de l'équité. Elle doit être réalisable (pas d'émeutes ni de blocages) et faire preuve de pragmatisme en ne confondant pas temps politique et temps des déchets. Elle doit enfin sécuriser les investissements.

De nombreux obstacles s'opposent à la réalisation de ces objectifs. A l'échelle d'un pays les zones géologiquement favorables peuvent être bien limitées. De plus, la solution du stockage géologique a une connotation très négative dans l'opinion publique générale : on enterre les déchets pour mieux les oublier. Personne n'a intérêt à accueillir un stockage sans compensation. Ainsi, divers intérêts locaux luttent farouchement contre une telle implantation. Enfin, les opposants au nucléaire utilisent la question des déchets comme pierre angulaire de leur stratégie d'attaque en profondeur. A partir de cette lutte, ils cherchent à élargir de plus en plus le débat pour briser le développement nucléaire.

Ces différents types d'obstacles sont souvent regroupés sous le terme érotique d'acceptabilité sociale. Cette notion est un coquille vide que les acteurs remplissent de leurs intentions : enrober le cadeau pour le rendre attractif pour les uns, recherche de l'utopie de l'accord général pour les autres. Les sciences sociales sont souvent convoquées dans ce cadre pour appuyer certaines démarches. Leur utilisation nécessite une prise de recul indispensable pour sortir des aléas du dogme et profiter pleinement de leurs éclairages.

L'étude des cas allemand et finlandais met en évidence un certain nombre de clefs pour une gestion à succès des déchets nucléaires. La clarté des responsabilités et des étapes de la décision est un pré-requis indispensable. Elle doit apporter une forte lisibilité dans la démarche et ménager des possibilités d'adaptation. Un levier d'action donné à la communauté locale permet d'asseoir la confiance dans le processus. Il va de pair avec des procédés d'interaction avec la population locale adaptés aux sujets. De la simple information à la concertation poussée, il faut faire attention à ne pas mélanger les genres. L'accompagnement régional doit être au cœur de la démarche avec une orientation forte vers le développement



économique. L'industrie nucléaire est la mieux placée et doit s'investir pour proposer des projets autour d'un site éventuel de stockage géologique.

Enfin, le problème du financement sur les quelques dizaines d'années d'exploitation d'un stockage est un enjeu important. L'évaluation du coût de la gestion, la technique de sécurisation des sommes et l'affectation de la responsabilité des déchets en sont les rouages principaux. Nous décrivons les solutions adoptées en Allemagne et en Finlande et soulignons les caractères d'une certaine schizophrénie française. L'utilisation de fonds externes, comme en Finlande, semble un bon compromis. En outre, le maintien de la responsabilité des déchets chez le producteur est essentiel, compte tenu des grandes incertitudes entourant le coût des solutions de gestion.

# **I. Inventaire à la Prévert des déchets nucléaires**

## **A. La définition des déchets nucléaires**

Force est de constater que le rapprochement de deux termes aussi inquiétants que « déchet » et « nucléaire » ne présage rien de bon. Toutefois, on est souvent bien mal en peine pour en donner une représentation concrète. A la différence des déchets ménagers présents dans notre vie quotidienne, peu de Français ont une idée claire de la forme de ces déchets : sont-ils solides, liquides, gazeux, produisent-ils de la lumière comme on le laisse supposer dans le générique de la série « The Simpsons » ? L'objet de cette partie est d'en donner une représentation un peu plus claire.

### **1. La définition de l'ANDRA**

Tout d'abord, il est utile de bien s'entendre sur la notion de déchets nucléaires, qui n'est pas précisée explicitement par la loi. L'ANDRA (Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs) propose la définition suivante dans son inventaire 2002 des déchets radioactifs :

*Est un déchet tout matériel ou matière non réutilisable ou destiné à l'abandon par son propriétaire.*

*Est un déchet radioactif tout matériel ou produit contaminé par des radioéléments artificiels ou tout matériau ayant subi une transformation physique (broyage mécanique) ou chimique pouvant libérer des radioéléments naturels.*

### **2. La notion de déchet : une notion technico-économique**

La définition donnée par l'ANDRA est cohérente avec l'article L541-1 du Code de l'Environnement :

II. - Est un déchet au sens du présent chapitre tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

III. - Est ultime au sens du présent chapitre un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

Comme on le voit, un déchet n'est pas défini par sa nature mais par le sort qui lui est destiné : des matières peuvent donc être classées ou non comme déchets suivant le contexte technico-économique. En anticipant un peu sur la suite, on verra que le plutonium n'est pas considéré comme un déchet en France puisqu'il peut être valorisé dans les combustibles MOX, tandis qu'en Finlande, le plutonium fait partie des déchets destinés au stockage géologique.

### **3. Les différents types de déchets radioactifs**

Il existe une grande variété de déchets radioactifs, que ce soit en terme de provenance (centrales de EDF, hôpitaux, CEA...), de durée de vie et de radioactivité. La France a adopté

une classification basée sur le niveau d'activité et sur la période des éléments radioactifs présents.

On distingue les déchets à vie courte, dont les radioéléments ont une période inférieure à 30 ans et les déchets à vie longue, dont les radioéléments ont une période supérieure à 30 ans.

Par ailleurs, on distingue différents niveaux d'activité, comme indiqués sur le schéma.

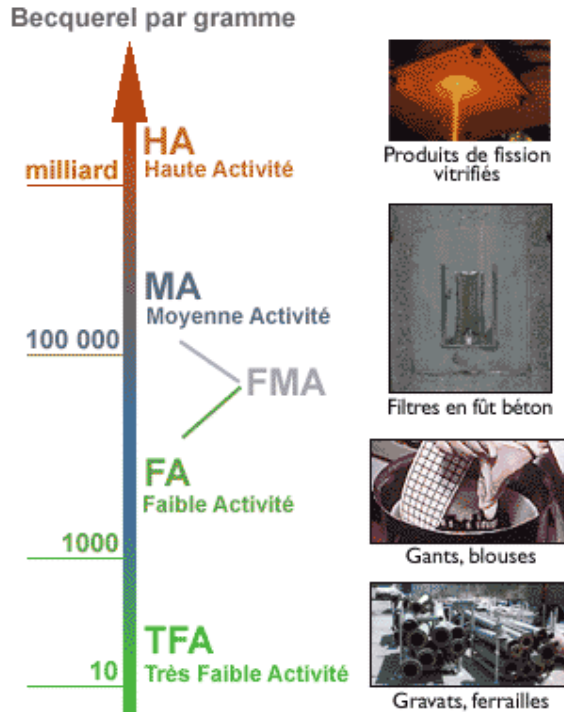


Figure 1 : Classification des déchets par activité

En croisant ces deux critères, on obtient la classification ANDRA des déchets.

	Vie courte <i>principaux éléments &lt; 30 ans</i>	Vie longue <i>&gt; 30 ans</i>
<b>Très Faible Activité (TFA)</b>	<b>Centre de stockage TFA</b>	
<b>Faible Activité (FA)</b>	. Stockage en surface (Centre de l'Aube) . A l'étude pour les déchets triés	<b>A l'étude (déchets radifères, déchets graphites)</b>
<b>Moyenne Activité (MA)</b>		
<b>Haute Activité (HA)</b>	<b>A l'étude (loi du 30 décembre 1991)</b>	

Figure 2 : Classification ANDRA des déchets

Comme le schéma l'indique, des filières de gestion existent déjà pour certains de ces déchets : par exemple, la totalité des déchets TFA est stockée au centre de stockage TFA de Morvilliers. En revanche, pour les déchets HA, la filière est encore à l'étude.

## **4. Distinction entre les radionucléides artificiels et naturels**

On aura noté que la définition des déchets proposée par l'ANDRA établit une différence entre les radionucléides artificiels et les radionucléides naturels. S'il est vrai qu'il n'existe pas de plutonium naturel sur terre, ce n'est pas le cas pour le carbone 14 par exemple. Or, il n'est pas possible en regardant un atome de carbone 14 de dire si il est « naturel » ou si il a été créé dans un réacteur nucléaire. Cette distinction peut donc paraître arbitraire : en fait, elle répond à l'impératif éthique de gérer les radionucléides que nous avons produits.

Par ailleurs, la définition ne propose pas de seuil de radioactivité en dessous duquel un matériel, éventuellement contaminé, ne serait plus considéré comme un déchet radioactif. En Allemagne, ce choix n'a pas été fait : il existe un seuil de libération qui permet de banaliser les matériaux.

La définition française n'est pas complètement satisfaisante d'un point de vue purement scientifique : elle introduit une distinction arbitraire entre radionucléides naturel et artificiel. Cependant, elle répond à un principe de précaution : dès qu'un matériel est passé dans une zone de contamination potentielle, il est considéré comme un déchet radioactif et traité comme tel. Elle est par ailleurs cohérente avec la procédure de démantèlement définie par l'ASN et basée sur le zonage : dès qu'un matériel a pénétré une zone contaminée, il doit être considéré comme radioactif.

## **5. Les différents producteurs de déchets**

Dans son inventaire, l'ANDRA distingue trois grandes familles de producteurs : l'industrie électronucléaire, la défense nationale et les utilisateurs de radionucléides.

L'industrie nucléaire est en France le premier producteur de déchets nucléaires : nous détaillerons dans la partie suivante ses déchets.

La défense nationale est également productrice à travers ses activités liées à la fabrication d'armes nucléaires ou à l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la propulsion de sous-marins ou de porte-avions.

Enfin, il existe une multitude d'utilisateurs de radionucléides. Des sources sont utilisées en médecine pour établir des diagnostics (scintigraphie) et pour traiter certaines maladies (radiothérapie). La radioactivité est aussi utilisée dans beaucoup de domaines de la recherche. Dans l'industrie, elle est utilisée soit comme source d'irradiation pour radiographier des soudures, stériliser des instruments, détruire des parasites, soit comme traceur de très grande précision (cheminement d'eaux souterraines, détection de fuite). Toutes ces activités génèrent des déchets radioactifs.

## ***B. Les déchets des centrales nucléaires***

### **1. La production d'électricité nucléaire**

Lorsqu'un neutron percute un noyau d'atome lourd, ce dernier peut être éclaté en deux noyaux plus légers. Cette réaction, qui porte le nom de fission nucléaire, dégage une quantité d'énergie très importante (de l'ordre de 200 MeV par fission à comparer aux énergies des réactions chimiques qui sont de l'ordre de 1 eV). L'énergie de fission est principalement transmise dans les produits de fission sous forme d'énergie cinétique, c'est à dire sous forme de chaleur. La chaleur produite lors de la fission de noyaux fissiles d'uranium 235 ou de plutonium 239 est utilisée pour transformer de l'eau en vapeur, permettant d'actionner une

turbine pouvant produire directement de l'énergie mécanique ou, par l'intermédiaire d'un alternateur, de l'électricité. C'est cette technique qui est à l'œuvre dans les centrales nucléaires actuelles.

Dans le processus de fission, plusieurs neutrons (lents ou rapides) sont libérés et sont sources de nouvelles réactions : c'est la réaction en chaîne. Cette réaction est maîtrisée au moyen de poisons neutroniques (atomes neutrophages, qui absorbent les neutrons) comme le bore soluble ou comme les barres de régulation. Les centrales nucléaires actuelles utilisent des neutrons lents comme source de la fission : un matériau modérateur (l'eau dans les centrales en France) va ralentir les neutrons rapides issus de la fission afin de permettre leur capture efficace par les noyaux fissiles.



**Figure 3 : centrale nucléaire de Cattenom**

Une tranche nucléaire comprend le réacteur nucléaire et une installation thermique qui produit de la vapeur à partir de l'énergie dégagée par les réactions de fission. Cette énergie thermique est transformée en énergie mécanique au moyen d'une turbine à vapeur ; l'alternateur utilise ensuite cette énergie mécanique pour produire de l'électricité.

Pour récupérer de l'énergie mécanique à partir de chaleur, il est nécessaire de disposer d'une source chaude et d'une source froide. Pour un réacteur de type REP (Réacteur à Eau sous Pression), la source chaude est fournie par l'eau du circuit primaire, la source froide est fournie par l'eau d'un cours d'eau ou de la mer, ou bien par l'air ambiant via l'évaporation dans des tours aéroréfrigérantes.

Le fonctionnement est ainsi tout à fait analogue à une centrale thermique classique, la différence essentielle étant le remplacement d'un ensemble de chaudières consommant des combustibles fossiles par un réacteur nucléaire.

## **2. Le cycle du combustible : ouvert ou fermé**

### **a) Composition initiale du combustible**

Le combustible introduit dans les réacteurs REP est à base d'uranium enrichi. L'uranium existe dans la nature sous 2 isotopes :

- l'uranium 235, fissile (période 713 millions d'années)
- l'uranium 238, non fissile (période 4,47 milliards d'années)

L'uranium naturel contient 99,2% d'uranium 238 et 0,72% d'uranium 235. Seul  $^{235}\text{U}$  peut fissionner. Afin de pouvoir entretenir la réaction en chaîne, il est nécessaire d'augmenter la proportion d' $^{235}\text{U}$  dans le combustible : c'est la phase d'enrichissement.

Une fois l'uranium enrichi, il est assemblé sous forme de pastilles dans des assemblages combustibles. Ces assemblages sont placés dans le réacteur nucléaire pour une durée de 4 ans environ.

Pendant ces 4 ans, les noyaux d' $^{235}\text{U}$  vont fissionner en produisant des neutrons, de la chaleur et des noyaux plus petits appelés produits de fission. Les produits de fission, souvent radioactifs vont rester prisonniers dans l'assemblage. Les neutrons vont déclencher d'autres réactions de fission mais ils peuvent aussi être capturés par les noyaux d' $^{238}\text{U}$ . Cette réaction va mener à la formation d'un nouvel élément : le plutonium, dont certains isotopes sont fissiles, au même titre que  $^{235}\text{U}$ . Le réacteur fabrique donc en quelque sorte du combustible en même temps qu'il en brûle.

### b) Composition du combustible après irradiation

Après un certain temps passé dans le réacteur, le combustible voit sa teneur en  $^{235}\text{U}$  diminuer et la teneur en produits de fission augmenter. Ces produits de fission absorbent les neutrons émis lors des réactions de fission et tendent donc à éteindre la réaction en chaîne. Il est alors nécessaire de remplacer le combustible utilisé par un combustible neuf.

Après un séjour en réacteur de 4 ans, le contenu du combustible est à peu près le suivant (il peut varier suivant le taux de combustion) :

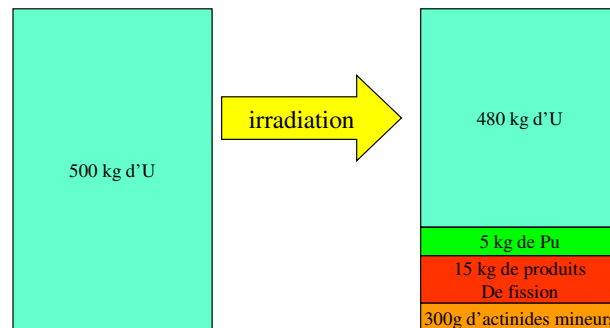


Figure 4 : inventaire du combustible après irradiation (d'après CEA)

Les produits de fission présentent une extraordinaire diversité physico-chimique : presque tous les éléments de la classification de Mendeleïev sont présents. La plupart de ces produits de fission sont très radioactifs.

Les actinides mineurs sont le neptunium, l'américium et le curium. Ce sont des éléments très proches de l'uranium et le plutonium. Il est nécessaire de les mentionner car ils ont une durée de vie beaucoup plus longue que celle de la majorité des produits de fission.

### c) Les deux stratégies de gestion des combustibles usés

Une fois le combustible usé déchargé, il existe 2 stratégies possibles. La première consiste à considérer ces combustibles usés comme des déchets et à les évacuer : c'est le cycle ouvert.

La deuxième consiste à retraiter ce combustible pour en extraire les matériaux valorisables. En effet, comme on le voit sur la figure 4, le combustible contient de l'uranium

et du plutonium, qui sont des matières hautement énergétiques. Dans un souci d'économie des ressources, il est donc envisageable de les récupérer. C'est l'objectif de l'opération de retraitement. En France, cette opération est menée dans les usines de COGEMA à La Hague. Dans un premier temps, le combustible est stocké dans une piscine afin de refroidir avant d'être retraité. Cette phase de refroidissement dure 8 ans en moyenne.

Lorsque le combustible est assez froid, il est cisailé puis dissout dans de l'acide. Par un procédé d'extraction chimique (appelé PUREX), le plutonium et l'uranium sont extraits tandis que les produits de fission et les actinides mineurs restent dans la solution. Cette solution est ensuite calcinée et les cendres sont vitrifiées. Pour cela, on mélange les cendres à de la frite de verre, on chauffe le mélange dans un creuset et le tout est coulé dans un conteneur en acier. Ceci constitue le conteneur standard de déchets HAVL.

La figure suivante présente une vue synthétique des cycles ouvert et fermé.

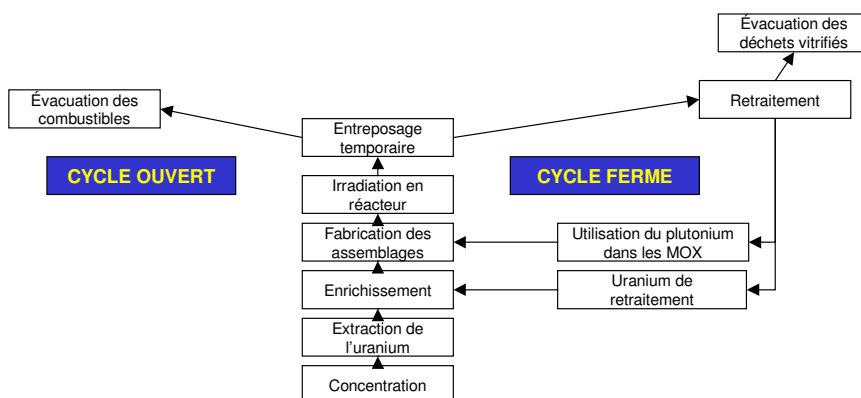


Figure 5 : le cycle du combustible, ouvert ou fermé

#### d) Le recyclage de l'uranium et du plutonium

Le cycle fermé permet d'extraire l'uranium et le plutonium qui sont présents dans les combustibles usés.

L'uranium obtenu, appelé uranium de retraitement, contient un pourcentage d' $^{235}\text{U}$  comparable à celui de l'uranium naturel : il est donc possible de le réenrichir. Aujourd'hui, le cours de l'uranium étant très déprécié, ce recyclage n'est pas effectué, afin de ne pas risquer une contamination de l'usine d'enrichissement. L'uranium de retraitement est donc stocké comme réserve stratégique.

Le plutonium, initialement extrait pour fabriquer des bombes nucléaires, peut être conservé afin de démarrer des réacteurs surgénérateurs, semblables au réacteur Superphénix. Ces réacteurs à neutrons rapides, qui sont capables de produire autant de matières fissiles qu'ils en consomment, permettraient de consommer la totalité de l' $^{238}\text{U}$ . Ils augmenteraient donc d'autant les réserves énergétiques. Cependant, les coûts d'investissement pour ces réacteurs sont bien plus élevés que pour les REP, et ils ne deviendront rentables que lorsque les matières fissiles seront devenues trop chères (la date de 2035 ou 2040 est évoquée pour la mise en service d'un parc industriel de réacteurs surgénérateurs). Pour les démarrer, il faudra disposer de plutonium.

Lorsque le stock de plutonium pour allumer des réacteurs surgénérateurs est suffisant, on peut vouloir stabiliser l'inventaire de plutonium en le recyclant dans les REP existants. Ceci est rendu possible par l'utilisation du MOX (Mixed OXydes). Ce combustible à base

d'uranium appauvri et de plutonium peut être utilisé en REP et la moitié du plutonium contenue est consommée au cours du séjour en réacteur. Cette stratégie permet à la fois de valoriser la matière en produisant de l'énergie et de stabiliser l'inventaire existant de plutonium.

### **e) Un détour sur l'option du retraitement**

Historiquement, la technologie du retraitement a été développée à des fins militaires : il fallait séparer le plutonium pour fabriquer des armes atomiques. Par la suite, les pays qui ont opté pour le « cycle fermé » l'ont fait au nom de l'indépendance énergétique. Ils souhaitent réduire le risque lié à une pénurie des matières fissiles. Il n'y a pas aujourd'hui de tension sur le marché de l'uranium, mais la stratégie de retraitement reste appuyée par les arguments suivants :

- sans le retraitement, le plutonium et l'uranium des combustibles irradiés, qui sont des matières hautement énergétiques, deviendraient des déchets : grâce au retraitement, on peut valoriser ces matières.
- le retraitement facilite la gestion de déchets en réduisant leur volume et en les concentrant dans une matrice qui les confine durablement (procédé de vitrification).
- enfin, les partisans des réacteurs Génération 4 font valoir la nécessité d'un stock de plutonium pour allumer ces réacteurs surgénérateurs.

Les opposants au retraitement avancent les objections suivantes :

- d'abord, on n'est pas sûr de pouvoir recycler plusieurs fois le plutonium : que fera-t-on des MOX irradiés ? Dans le cas où on ne les recyclera pas, il faudra bien les stocker en l'état.
- le cycle fermé comporte davantage de manipulations et donc de risques.
- le cycle fermé présente un risque de prolifération accru car le plutonium est séparé : c'est la raison pour laquelle les Etats-Unis ont abandonné le retraitement sous Carter.
- le retraitement crée davantage de déchets technologiques : l'avantage économique du cycle fermé serait donc négligeable.

Comme on le voit, il n'est pas évident de trancher a priori entre les deux stratégies. Si l'on développe une 4<sup>ème</sup> génération de réacteurs nécessitant du plutonium pour démarrer, le retraitement est à l'évidence à retenir. En revanche, dans l'hypothèse d'une sortie du nucléaire, il faudrait trouver un exutoire au plutonium mis sur étagère, qui deviendrait alors un déchet.

Par ailleurs, il ne faut pas se laisser abuser par l'expression « cycle fermé » : il ne s'agit pas d'un cycle fermé au sens littéral, dans la mesure où il y a production de déchets. Dans tous les cas, les produits de fission ne sont en effet pas recyclables !

Le choix du retraitement est très structurant pour la politique de gestion des déchets nucléaires. Il détermine la nature des déchets et leur conditionnement. Toutefois, ce ne sont pas les considérations sur les déchets eux-mêmes qui ont guidé l'adoption ou l'abandon du retraitement dans le monde : il s'agit davantage de réflexions sur la prolifération ou l'indépendance énergétique. Dans le cadre d'une politique de gestion des déchets nucléaires, la présence ou non d'une étape de retraitement est donc une donnée d'entrée plus qu'un paramètre sur lequel jouer. C'est pourquoi dans cette étude, nous prendrons l'existence ou non d'une étape de retraitement comme une donnée a priori.



### 3. Les déchets produits par l'industrie nucléaire

Pour évoquer les déchets produits par l'industrie nucléaire, il est bien sûr essentiel de ne pas se borner aux combustibles usés. Il faut prendre en compte la totalité des déchets produits au cours de la vie des installations industrielles.

A ce titre, les déchets produits avec les volumes les plus importants sont les déchets miniers (issus des mines d'uranium) et les déchets TFA issus du démantèlement des centrales. Ces derniers sont très faiblement radioactifs : il s'agit essentiellement de béton et de structures faiblement activées, mais ils posent des problèmes de gestion en raison de leur volume.

Les déchets de faible et moyenne activité sont essentiellement des déchets de fabrication (gants...) et de procédé (enrichissement, fabrication du combustible...). Dans les pays qui ont fait le choix du cycle fermé, il faut y ajouter les déchets générés lors de l'étape de retraitement.

Les déchets de haute activité proviennent du combustible usé. La situation est cependant très différente selon que l'option de retraitement a été choisie ou non. Dans le cycle ouvert, les déchets sont les combustibles irradiés : c'est l'option privilégiée par exemple par les Etats-Unis, la Finlande et la Suède. Les assemblages combustibles sont placés dans des conteneurs de confinement et l'ensemble obtenu est le déchet ultime.

En revanche, dans le cas du cycle fermé, les déchets produits sont les produits de fission et les actinides mineurs extraits au cours du retraitement. Ces déchets, incorporés dans une matrice de verre, deviennent ultimes. En revanche, le plutonium et l'uranium de retraitement séparés ne sont plus considérés comme des déchets et « sortent » donc de l'inventaire des déchets. C'est l'option retenue par la France, la Grande-Bretagne et le Japon.

Le tableau ci-dessous présente une prévision établie par l'ANDRA pour l'ensemble des déchets du parc français.

#### **Volumes prévisionnels des déchets radioactifs produits par le parc français jusqu'en 2020 (en m3, d'après l'ANDRA)**

	2002	2010	2020
Type de déchets	Volumes stockés ou entreposés	Volumes prévisionnels stockés ou entreposés	Volumes prévisionnels stockés ou entreposés
HA	1 639	2 521	3 621
MA-VL	45 359	50 207	54 509
FA-VL	44 559	46 580	87 431
FMA-VC	778 322	913 900	1 196 880
TFA	108 219	247 981	515 991
TOTAL	978 098	1 261 190	1 858 432

## ***C. Notre sujet de réflexion : les déchets HAVL***

### **1. Les déchets HAVL : un aspect transhistorique**

Au départ de notre étude, nous avons choisi de nous restreindre exclusivement au cas des déchets HAVL provenant de la production d'électricité nucléaire. Ce choix était d'abord motivé par l'échelle de temps liée à ces déchets. Alors que pour les déchets FMA-VC, placés aujourd'hui dans le site de stockage de l'Aube, une durée de 300 ans permettra à la radioactivité de décroître et autorisera une banalisation du site, les déchets HAVL resteront notablement radioactifs (c'est-à-dire bien au-dessus du niveau de la radioactivité naturelle)

pendant au moins 100 000 ans. Cette quasi-éternité fait de ce sujet un animal rare dans l'agenda politique. Il est d'autant plus intéressant d'observer comment les pouvoirs publics, les hommes politiques, souvent accusés de myopie envers le futur, traitent ce sujet.

En outre, si ces déchets ne représentent que 2% du volume total, ils représentent 96% de la radioactivité totale. Bien sûr, comme nous l'avons noté plus haut, comparer brutalement les activités de plusieurs matériaux n'a pas grand sens : ainsi, décréter sur la seule base de l'activité que les déchets HAVL sont forcément plus dangereux pour la santé publique que les déchets FMA-VC ne veut pas dire grand chose. Toutefois, la forte concentration de la radioactivité au sein des verres et des combustibles usés doit nous inviter à les étudier plus attentivement.

De plus, un argument qui plaide en la faveur de l'étude d'un tel sujet est la proximité de l'échéance de 2006, fin de la période de recherche ouverte en 1991 par la loi sur la gestion des déchets radioactifs (loi Bataille). Cette loi prévoyait 15 ans de recherche autour de 3 axes : la séparation-transmutation, le stockage géologique réversible et l'entreposage. Cette recherche devait s'effectuer essentiellement autour de la gestion des déchets HAVL.

Dans d'autres pays, ce sujet est encore brûlant : ainsi, aux Etats-Unis, l'avenir du site de Yucca Mountain n'est pas encore fixé, en Allemagne, le site de Gorleben est sous le coup d'un moratoire qui a interrompu les recherches depuis 2000.

Par ailleurs, les impératifs de gestion liés aux déchets HAVL sont relativement éloignés des mesures prises pour les déchets FMA-VC ou TFA. Pour toutes ces raisons, nous avons souhaité nous concentrer uniquement sur les déchets HAVL et présenter un panorama de la situation en France et dans deux autres pays. De plus, afin de présenter des comparaisons internationales cohérentes, dans les pays qui n'ont pas adopté de cycle fermé, nous fonderons nos comparaisons sur la gestion du combustible usé.

## **2. La France, la Finlande et l'Allemagne**

Afin d'obtenir un éclairage international sur la gestion des déchets HAVL, nous nous sommes intéressés à l'Allemagne et la Finlande.

Nous avons choisi la Finlande car celle-ci est systématiquement citée comme élève modèle pour l'établissement d'un stockage géologique profond. Le prétendu goût du consensus propre aux scandinaves est souvent évoqué pour expliquer la bonne acceptabilité autour du site d'Olkiluoto (alors que la Finlande ne fait pas du tout partie de la Scandinavie !). Nous nous sommes donc rendus sur place pour démystifier les légendes entourant ce pays. La sortie programmée du nucléaire décidée en 2000 en Allemagne plonge ce pays dans un contexte politico-énergétique très particulier. Alors qu'il était très en avance sur le stockage géologique, le pouvoir en place veut tout remettre à plat et a imposé un moratoire sur le site de Gorleben. Nous avons cherché à comprendre l'influence de ces revirements politiques sur la gestion des déchets ainsi que les origines du consensus allemand sur la solution de stockage géologique.

## **3. Ordres de grandeur**

Essayer de cerner ce que représentent concrètement les déchets HAVL pour l'humanité ou la santé publique n'est pas chose facile. Notre première réaction fut de chercher à comprendre quelle catastrophe était en jeu : si les déchets HAVL du parc français étaient accidentellement dispersés dans l'atmosphère, allait-on avoir l'équivalent de Tchernobyl ou bien la fin de tout être vivant sur la planète ? Cependant, ceci n'a pas grand sens, puisqu'on ne voit pas très bien comment la matrice de verre pourrait relâcher tous les radionucléides contenus.

On peut aussi vouloir comparer la radioactivité des déchets HAVL à celle de l'océan. Ainsi, si les déchets HAVL français étaient dilués dans les océans, on augmenterait la radioactivité de l'eau de mer d'environ 1% (il faut noter que la radioactivité naturelle de la mer est assez faible, de l'ordre de 10 Bq/L, tandis que la radioactivité de la terre est de 1000 Bq/kg en moyenne, avec des variations très importantes selon les terrains). Ainsi, la radioactivité artificielle liée à la production électrique est infime rapportée à la radioactivité de la Terre dans son ensemble. Ceci pourrait inciter à gérer les déchets par dilution. Néanmoins, il est impossible de garantir qu'il n'y aura pas de reconcentration. Par conséquent, les modes de gestion étudiés aujourd'hui s'appuient davantage sur le confinement de déchets.

Ainsi, les déchets vitrifiés de La Hague sont contenus dans des cylindres en acier de 1,34m de haut, contenant 400 kg de verre (renfermant 14% de produits de fission). Après 50 ans, l'activité du verre est d'environ 10 000 milliards de Bq/kg.

Le volume de déchets HAVL produit depuis le début du parc en 2002 est de 1639 m<sup>3</sup>, soit l'équivalent d'une piscine olympique.

Après ces quelques ordres de grandeur sur les déchets HAVL, nous allons chercher à montrer comment ce sujet est devenu davantage un sujet de société qu'un sujet seulement technique.

## ***II. Le nécessaire traitement politique des déchets nucléaires***

Pourquoi parle-t-on donc de politique de gestion des déchets nucléaires et non pas de gestion tout court ? La très vaste majorité des sujets techniques passe au travers de la société sans la moindre secousse. Les parlements légifèrent très peu sur les recherches potentiellement menées au sein du pays. Des sujets ont certes créé des polémiques, comme les manipulations génétiques qui ont appelé une prise de conscience éthique au niveau parlementaire. Cependant, il n'était pas question de définir les pistes de progrès à explorer, mais tout simplement de fixer des barrières à ne pas dépasser. Cherchons donc par quels mécanismes les déchets nucléaires ont reçu un traitement si singulier dans l'espace technico-politique.

### ***A. Un héritage historique***

Nous allons essayer de comprendre dans un premier temps dans quelle mesure le passif historique lié à l'industrie nucléaire impacte la gestion des déchets. La structure d'un milieu industriel est en effet un facteur déterminant dans sa visibilité, dans sa réputation, dans son contrôle par l'Etat et par la loi. Tous ces éléments influencent profondément le monde des déchets nucléaires.

#### **1. Les déchets HAVL, éléments techniques issus des politiques publiques**

Les déchets issus de l'industrie nucléaire sont nés sous la bonne étoile d'une politique, la politique énergétique. Dans leur acte de création, ils portent déjà la marque d'une décision non technique, le déploiement d'un parc de réacteurs pour faire face à la demande électrique globale. Leur existence est intimement liée à ce choix qui appelle dès l'origine le monde

politique à la justification. Les opposants les plus virulents se retrouvent à merveille sur ce terrain épineux. En critiquant la gestion des déchets, ils attaquent avant tout les politiques publiques qui ont décidé de la production nucléaire ! Dans les trois pays que nous avons visités, le raisonnement était limpide : pas de gestion des déchets sans politique de sortie du nucléaire.

D'autre part, en laissant les techniciens gérer les déchets, on sent bien un déséquilibre dans la prise de responsabilité. Ceux qui décident se dédouanent sur ceux qui mettent en pratique, et ces derniers s'octroient des pouvoirs de décision illégitimes. Les objectifs des décideurs politiques reçoivent encore un écho résolument positif. L'indépendance énergétique par exemple, parle aux citoyens. Avec quelques années d'écart, la France et la Finlande ont bâti leurs parcs électronucléaires sur cette pierre angulaire. Ce qui choque, c'est qu'aucun fil conducteur n'ait été tissé entre cet objectif précieux et ses conséquences, la production et la gestion des déchets.

Le cas de la France est d'ailleurs bien singulier dans les pays que nous avons visités. Pendant de longues années, aucun processus législatif ne s'est penché sur la question. A contrario, en Finlande et en Allemagne, des lois sur l'énergie nucléaire encadrent assez fortement la gestion des déchets nucléaires. La Finlande marqua très tôt, en 1983, dans le marbre de la loi, ses préférences de gestion : stockage géologique ou exportation. Cette même loi appelle le parlement à se prononcer sur les étapes cruciales de la gestion, donnant un fil rouge politique à celle-ci. C'est d'ailleurs par souci de protection de ses choix énergétiques qu'elle décida très tôt de garder ce sujet politique. Au début des années 1980, un des principaux arguments évoqués en Suède pour la sortie du nucléaire était l'absence de solutions pour l'aval du cycle. Pour se prémunir contre ces attaques, la Finlande laissa dans les mêmes mains la responsabilité du nucléaire et de ses déchets.

Un autre lien étroit entre la gestion des déchets et les politiques publiques se trouve dans le déploiement d'une stratégie de retraitement. L'impact sur les déchets est clair : en extrayant les matières valorisables, on diminue le volume à traiter, on change l'aspect et les propriétés des déchets...C'est un choix très structurant pour l'aval du cycle. Il a souvent été présenté sous l'angle de ses avantages économiques apportant une optimisation de la gestion. Un certain nombre de rapports a montré que les gains ou les pertes liés à ce choix ne sont pas très significatifs. Nous sommes donc revenus de plein fouet dans la cadre d'un choix politique sur la filière nucléaire. Il imbrique encore un peu plus le thème des déchets dans celui de la politique publique.

## **2. Une irréversibilité technique, qui aboutit à une impasse**

En s'inspirant de la thèse de Yannick Barthe sur la mise en politique des déchets nucléaires, revenons sur le cas de la France.

Les choix de politique énergétique français ont consacré le nucléaire dans notre mix électrique. Très tôt, les scientifiques se sont demandé quelles solutions pourraient être appliquées à la gestion des déchets issus de cette industrie. Les faibles volumes en jeu n'ont pas poussé les milieux scientifiques à l'urgence. Mais leur prise de conscience collective est montée en puissance de la fin des années 1950 jusqu'au milieu des années 1980.

Un certain nombre de solutions fut évoqué. Les deux principales pistes étaient celle de la dilution et celle du confinement. La première, mise en pratique dans les océans pour les déchets de faible et moyenne activité, fut rapidement abandonnée après un tollé des milieux océanographiques. Un calcul rapide montre d'ailleurs que cette solution n'est pas praticable à grande échelle pour les déchets de haute activité par crainte de reconcentrations (voir ordres de grandeurs précédemment). Ne restait donc que la stratégie de confinement et expulsion pour gérer les déchets : confinement dans un faible volume, expulsion dans les déserts, sur le soleil,

dans la calotte antarctique, dans les zones de subduction ou dans une couche géologique profonde.

Au fil des années, les scientifiques se heurtèrent à des impasses techniques et prirent des choix d'options délibérés. Ils se concentrèrent de manière contingente et volontaire vers la voie du stockage géologique irréversible.

Lorsque l'ANDRA commença à sonder les meilleures places françaises à la fin des années 1980, elle ne reçut qu'une volée de bois vert en échange de sa bonne volonté à gérer les déchets. Le sacerdoce dura de longs mois et il fallut attendre 1990 pour que Michel Rocard annonce un moratoire sur la gestion des déchets radioactifs et que la situation se calme. Longtemps oubliés par les sphères politiques et laissés aux mains des scientifiques, les déchets revenaient sur la place publique par la voie du scandale. La crise de légitimité de la technocratie atteignait son point culminant. Le pouvoir politique vint à la rescousse du nucléaire qu'il enfanta pour remettre un pied dans la gestion de ses petits, les déchets.

### **3. Importance de la crédibilité des acteurs**

La singularité de l'héritage historique du nucléaire se retrouve aussi dans la réputation de ses acteurs. La tradition du secret militaire entourant les programmes d'armement atomique se répandit assez fortement sur la filière civile. Dans la vision collective, la transparence du nucléaire est encore de nos jours une belle gageure. Cet *a priori* négatif sur la filière est d'autant plus renforcé que le lobby nucléaire apparaît comme un bloc bien monolithique. Celui-ci semble jouer à l'apprenti sorcier avec la bénédiction de l'Etat sans qu'aucun contrôle externe ne vienne perturber l'édifice. Un sondage intéressant compare les taux de crédibilité et de compétence des différents acteurs en France. EDF, Areva et le CEA forment un bloc homogène de personnes considérées très compétentes mais pas du tout crédibles. Le gouvernement et l'Etat apparaissent comme ni crédibles, ni compétents. Enfin les associations de protection de l'environnement sont jugées crédibles mais pas compétentes. Face à ce sentiment de suspicion, on ne veut pas laisser les acteurs du nucléaire agir seuls dans leur monde, en particulier pour les déchets. En réaction à cette réputation historique, la population appela en France une gestion politique de la question des déchets.

Il faut cependant noter qu'en Finlande, par exemple, la situation est tout à fait différente. La crédibilité des acteurs du nucléaire est assez élevée dans la population. Ayant limité la dépendance énergétique du pays face aux deux adversaires éternels que sont la Russie et la Suède, ils jouissent encore d'un prestige certain. La gestion des déchets est d'ailleurs laissée entre les mains d'une filiale des électriciens, Posiva Oy. En France, cette gestion est assurée par l'Etat au travers de l'ANDRA. Cette différence organisationnelle est assez marquante quant à la confiance accordée au milieu du nucléaire.

### ***B. Les trois défis politiques des déchets***

Outre cet héritage historique qui entoure le problème des déchets et le lie fortement à la sphère politique, leur gestion représente un certain nombre de défis propres qui ne trouvent pas de réponse dans l'univers technique.

## **1. Les limites du discours scientifique : un défi pour la raison**

La durée de vie de certains éléments contenus dans les déchets dépasse le million d'années. Trouver une solution à leur gestion revient à les rendre inoffensifs sur une telle échelle de temps. On demande donc à la science de résoudre un problème sur une période qui n'est pas descriptible. Le déterminisme de la science s'arrête à son pouvoir de prévision. Celui-ci n'est pas imaginable sur des durées aussi longues. Nul ne peut dire si un volcan ne traversera pas le stockage, si un séisme de grande ampleur ne viendra pas créer une immense faille. La seule chose que l'on puisse dire est que ces événements sont absolument peu probables, sans pouvoir réellement quantifier leur risque d'occurrence. L'infinie complexité des critères qui définissent un stockage rend caduque l'illusion de pouvoir tous les maîtriser sur des centaines de milliers d'années. La science peut juste avancer un faisceau de preuves qui convergent vers la sûreté de la gestion. Elle ne pourra jamais assurer un risque nul durant toute la vie des déchets.

Cette limite du discours scientifique est en tout point troublante. Elle ne permet pas d'assurer à la population l'innocuité des solutions que la science propose. A cela, s'ajoute une objection d'un autre ordre, qui ne concerne pas une limite de la science, mais une limite de l'homme en général. D'Iribarne montre en effet dans son étude sur les déchets nucléaires que l'échelle de temps de leur vie apparaît comme infinie au commun des mortels. Or, le bon sens populaire nous indique que l'homme fini ne peut pas se prendre pour Dieu et maîtriser l'infini. Ainsi, les scientifiques auront beau tout essayer, auront beau avoir à leur disposition les outils les plus perfectionnés, ils n'y arriveront jamais car c'est métaphysiquement impossible. L'homme n'a pas à jouer avec ce qui le dépasse.

Ces deux limites de la science et de l'homme font sortir le problème des déchets de la sphère technique. Seul un traitement politique qui n'a pas pour objet l'absolu mais le compromis peut parvenir à dépasser ces frontières infranchissables.

## **2. Les intérêts nationaux face aux intérêts locaux : un défi pour la démocratie**

Comme nous l'avons déjà dit, les déchets nucléaires HAVL sont issus de la production d'électricité d'un parc nucléaire. Développé sur fond d'indépendance énergétique au moment de la crise pétrolière, cet outil industriel représente un avantage de premier ordre en fournissant de l'électricité peu chère à la nation. En contrepartie, quelques grammes de déchets hautement toxiques sont produits chaque année par consommateur. La solution la plus équitable serait de donner sa part à chaque citoyen et de laisser tout un chacun gérer son trésor radioactif. Certains ont aussi proposé de créer des entreposages rotatifs. Tous les départements accueilleraient les déchets pendant quelques mois avant de les transférer chez le voisin. On imagine aisément que les résultats seraient catastrophiques en terme de sécurité générale. Il faut donc trouver une solution commune au problème. Cette solution n'impliquera nécessairement qu'une fraction de la population sur une partie réduite du territoire. Gérer les déchets nucléaires revient donc à impliquer une petite partie au nom de tous.

L'iniquité est ainsi au cœur même de la gestion des déchets radioactifs. On retrouve cette même situation pour les décharges de déchets ménagers ou pour les incinérateurs. Cependant, étant donné les faibles volumes mis en jeu avec les déchets HAVL, on atteint un paroxysme du déséquilibre. Un seul lieu de gestion sera nécessaire pour l'ensemble d'un pays.

L'alliance de deux termes peu porteurs que sont « déchets » et « nucléaires » laisse présager que leur accueil ne sera pas triomphant dans les localités qui auront à subir les

conséquences de l'intérêt national. A l'ordre zéro, on peut même dire que personne n'a intérêt à accepter cette charge.

Gérer les déchets nucléaires de manière centralisée et localisée est donc un mode de gestion profondément justifiable, étant donné la toxicité et les faibles volumes. Il est en même temps fondamentalement inéquitable car il fait porter le poids de la nation sur l'épaule d'un petit nombre. Réconcilier cet intérêt national avec la diversité des intérêts locaux est un défi considérable pour la méthode de gestion. C'est une question que seul un traitement politique a la légitimité de trancher.

### **3. La société civile dans le débat : un défi pour la représentativité**

Enfin, les années 1980 ont vu la société « civile » faire irruption dans la gestion des déchets radioactifs, en Suède et en France notamment. Cette intrusion prend essentiellement trois formes : la peur du risque, la contestation locale et la contestation globale. Les frontières entre celles-ci ne sont pas forcément bien précises mais par souci de simplicité nous les décrivons indépendamment.

La peur du risque est soulignée par l'appréhension de la nation vis-à-vis des déchets nucléaires. D'après le baromètre IRSN 2004, 58% des Français pensent que les risques liés aux déchets radioactifs sont élevés. Parallèlement la connaissance générale des problèmes réels est très faible. Ce n'est donc pas un risque qui pousse les gens à s'y intéresser en profondeur. C'est simplement un problème de société fortement reconnu avec une demande de signaux positifs de la part des gestionnaires. La société civile rentre dans le débat par sa demande de sécurité, l'information pouvant être une forme de réponse à cette attente.

L'intrusion locale est née de la recherche ou de la mise en route de laboratoires géologiques souterrains. Collectifs aux intérêts parfois très hétérogènes, ils luttent contre la mise en place de stockages sur leur territoire. Phénomène rendu célèbre par le slogan « NIMBY » (not in my backyard), il met en forme l'affrontement entre intérêts nationaux et locaux que nous avons évoqué plus haut. Les vigneron du Gard ou les éleveurs de poulets de Bresse illustrent à merveille cette lutte pour la protection de leur image. Il est intéressant de noter que pour ce type d'intrusion, toute tentative d'information est relativement vaine. La contestation est le fruit de l'histoire de nucléaire, de son image, et non de la sûreté ou la légitimité d'un mode de gestion. La société civile rentre alors dans le débat par le biais de la défense de ses intérêts propres.

Enfin, la gestion des déchets nucléaires est apparue au fil du temps comme le talon d'Achille de la filière, à cause duquel tout le colosse pourrait s'effondrer par constipation. Les opposants à l'énergie atomique sont rentrés dans la contestation pour pousser à son paroxysme cette logique. On pourrait nommer ce phénomène « NIABY », (not in any backyard). Nous avons pu observer des liens assez étroits entre des opposants anti-nucléaires de Bure et de Gorleben en Allemagne. Cette « internationale de la contestation locale » s'oppose à tout projet de gestion à long terme des déchets pour prouver que l'industrie nucléaire est dans une impasse. Dans ce cas, la société civile rentre dans le débat par idéologie militante.

En voulant exprimer ses craintes ou ses opinions, la société civile s'est donc invitée au fil du temps à la table de discussion où elle n'était pas conviée. Touchant au cœur même de notre système de représentation, cette intrusion met en branle notre organisation démocratique. C'est peut-être le défi le plus profond que notre système politique devra relever.

## ***C. Comment reposer le problème***

Nous venons de voir que les déchets nucléaires, par leur caractère historique et par les défis qu'ils lancent à la science, à notre démocratie et à notre système de représentativité, dépassent largement la sphère technique et réclament un traitement politique adéquat. Nous allons maintenant décrire la mise en politique de ces problèmes dans les trois pays que nous avons étudiés.

On se heurte ici à un paradoxe délicat : dans les années 1980, la France, l'Allemagne et la Finlande avaient choisi une seule solution technique, le stockage géologique. Or, un traitement politique va de pair avec la possibilité de choix. Comment donc reformuler le problème pour définir une politique de gestion des déchets nucléaires ?

### **1. La mise en politique en France**

Le moratoire Rocard en 1990 mit fin à quelques années de lutte dans les zones où l'ANDRA étudiait la roche en vue d'installer un stockage géologique irréversible. Une mission, sous la direction du député Bataille, eut alors pour objectif de cerner le thème des déchets nucléaires pour essayer de le sortir de son ornière technocratique.

La solution finalement retenue suivit la voie législative. La « loi Bataille » fut votée en décembre 1991 par le parlement. Elle rouvre les possibles en définissant trois voies de recherche et une période de quinze ans au bout de laquelle le parlement devra de nouveau se prononcer sur l'avenir du dispositif. Les trois axes de recherche sélectionnés furent la séparation-transmutation, le stockage géologique réversible ou irréversible, et l'entreposage de longue durée. Des laboratoires de caractérisation de la roche devaient être ouverts dans des régions géologiquement propices.

En faisant repartir certaines voies de recherche oubliées au cours du temps, le parlement s'est ainsi donné les moyens de choisir quelles solutions seraient les plus favorables. C'est extrêmement rare qu'une loi définisse le contenu de recherches. La loi Bataille donne à la politique des éléments de choix et une convocation ultérieure, comme un fil conducteur qui montre que le sujet est désormais entre ses mains.

### **2. Les options finlandaise et allemande**

En Allemagne et en Finlande, les choix de gestion ont été marqués très tôt dans la loi. Par exemple, la loi sur l'énergie nucléaire de 1983 en Finlande prône le stockage géologique comme voie de gestion des déchets nucléaires (avec l'exportation). Une solution d'ouverture politique à la française n'était donc pas réellement envisageable dans un tel contexte. Ces pays se sont donc concentrés sur le mode de sélection du site de stockage pour réaffirmer la place du politique dans la question.

La Finlande définit en 1983 toutes les étapes de son processus de choix de site. Elle afficha dès le début les possibles recours parlementaires et municipaux dans les décisions. En accordant un droit de veto à ces deux organes élus, elle tissa la trame de la politisation de sa gestion des déchets.

En Allemagne, un site fut choisi en 1977 à Gorleben. Depuis, une large partie de la contestation s'est concentrée sur le choix d'implantation. En particulier, l'actuel ministre de l'environnement, Mr Tritin, qui vient de cette province, remit tout à plat après son accession au pouvoir. Il créa une commission, l'Akend, pour redéfinir une procédure de choix de site en



réunissant pro- et antinucléaires autour de la table. Le rapport final de ce comité, publié en 2002, décrit une procédure qui, partant d'une carte blanche de l'Allemagne, donne tous les critères pour sélectionner des sites convenables. Elle laisse une place importante aux populations locales. En particulier, plusieurs étapes sont marquées par un vote des communautés pour cerner leur « volonté de participer » à la suite de ce processus. L'initialisation et la fin de la procédure sont laissées entre les mains du parlement.

On voit donc que la démarche allemande concentre toute la politisation de la gestion sur le processus de choix du site. Par ailleurs, les partis de gauche et de droite n'ayant pas du tout la même vision du nucléaire dans ce pays, le terrain électoral constitue une autre mise en politique des déchets en Allemagne. Les pouvoirs de gestion étant partagés entre l'Etat fédéral et les Länder, chaque cohabitation devient l'occasion d'une paralysie du système.

### ***III. La guerre des trois axes n'aura pas lieu***

Nous allons maintenant nous pencher sur la situation française. Elle apparaît bien atypique en effet, en regard de nos deux études internationales, puisque le mode de gestion n'a pas encore été choisi. Nous allons donc balayer les trois axes définis par la loi Bataille, afin d'explicitier leur contenu technique, leur implication financière, sociale, et leur fiabilité. Nous arrivons au terme des quinze années de recherche définies par cette même loi : voyons ce qu'il faut retenir de l'ouverture des possibles.

#### ***A. L'entreposage***

Lorsqu'on regarde la situation des déchets radioactifs HAVL à l'échelle mondiale, un constat fort s'impose : l'entreposage est le mode de gestion actuel de tous les pays. Laisser refroidir les combustibles usés dans des piscines ou des entrepôts et attendre aussi longtemps que possible est la voie de référence. Les faibles volumes en jeu facilitent d'autant plus la tâche de ceux qui ne cherchent qu'à les surveiller. Certains pays comme les Pays-Bas ne regardent d'ailleurs pas d'autre solution. Ils attendent patiemment que les contextes internationaux évoluent pour profiter par exemple de l'ouverture d'un stockage international.

Nous commencerons par nous familiariser avec les aspects techniques de cette solution, nous analyserons alors les critères de coût et de sécurité pour terminer sur l'impact social de cette technique.

#### **1. Description technique**

L'entreposage de longue durée est une déclinaison de la stratégie de confinement. Les déchets sont concentrés sur un faible volume et regroupés dans un même espace physique. L'objectif est d'entrepoiser les déchets dans des édifices de durée de vie séculaire, proches de la sphère humaine, de manière à pouvoir les récupérer et les surveiller très aisément. Cette solution va de pair avec un travail approfondi de conteneurisation des déchets. Chaque type de déchet HAVL (combustible irradié, verres) devra être inséré dans un colis adapté à une grande variété de manipulations et garantissant une durée de vie supérieure à la durée des entrepôts.

Deux concepts principaux sont à l'étude au cœur de l'axe 3 de la loi Bataille : les entrepôts en sub-surface et les entrepôts en surface.

### **a) Entreposage en surface**

L'entreposage en surface est la solution qui semble la plus facile à réaliser. Il s'agit de construire de grands hangars à même le sol et d'insérer les colis de déchets radioactifs dans des niches spéciales, des puits par exemple, afin de les stocker dans des conditions optimales de conservation. Leur manutention se fait à travers une dalle qui assure la protection biologique. Un retour d'expérience assez important a été collecté pour ce type d'entreposage puisque la grande majorité des déchets existants sont conservés dans ce genre de structure. En particulier, dans l'enceinte de l'usine de la Hague, des entreposages à sec sont utilisés depuis de nombreuses années. On est désormais certain que ces structures pourront durer au-delà d'une centaine d'années. La durée de vie des bétons en est pour l'instant le principal facteur limitant. Les colis étant chauds, un système de circulation d'air est primordial pour le bon fonctionnement de l'installation. La convection naturelle et la convection forcée sont les deux principales options pour réaliser ce refroidissement.



**Puits dans la casemate en béton sur le site Cogema d'entreposage de colis de verres à La Hague**

### **b) Entreposage en sub-surface**

L'entreposage en sub-surface n'est pas très différent de la technique précédente. Il s'agit simplement de construire le hall de stockage légèrement en profondeur, jusqu'à 50 mètres sous la surface du sol, pour renforcer la sûreté de la solution. Les risques liés aux agressions externes (situations climatiques exceptionnelles, chutes d'avion, attentats, intrusions...) sont alors fortement limités. Afin de faciliter la mise en œuvre pratique de cette solution, les ingénieurs ont imaginé de creuser l'entrepôt à flanc de colline. Les colis seraient disposés dans des puits verticaux avec une convection d'air forcée ou naturelle de manière à refroidir les déchets. Une telle réalisation est tout de même complexe. Les problèmes de gestion de l'eau, de manutention, de circulation d'air sont bien plus cruciaux que pour les entrepôts de surface. La réalisation industrielle d'un tel concept n'a pas encore été mise en œuvre. Il faudra attendre un certain nombre de retours d'expérience pour savoir si ces entrepôts sont fiables sur de longues durées.

### c) Les colis



Des recherches sont en cours dans de nombreux pays pour améliorer le conditionnement des déchets retraités ou des combustibles usés afin de rendre cette solution plus standardisée et facile à réaliser. Cette piste était aussi écrite dans la loi Bataille comme un complémentaire logique de la voie de l'entreposage. En effet, la nécessité de pouvoir manipuler et reprendre les colis à la fin de vie de l'entreposage impose un certain nombre de contraintes aux conteneurs. En particulier, les problèmes liés à la corrosion sont cruciaux pour la sûreté du concept. Les deux principaux points durs concernant les colis sont sa fermeture et les conditions thermiques de son entreposage. La soudure pleine épaisseur et le système de joint fusible devraient assurer la pleine étanchéité de l'enveloppe en fonte ou acier noir. Les conditions idéales de corrosion sèche qui consomment 1µm de métal par siècle nécessitent une atmosphère contrôlée et une situation thermique optimale. La chaleur des colis diminue avec le temps, les matériaux utilisés doivent supporter une plage importante de températures. Des études sont menées sur le concept de colis multi-barrières (plusieurs couches de métaux différents). Ils seraient un moyen performant d'assurer l'intégrité séculaire des conteneurs en empêchant la corrosion simultanée de différentes protections.

## 2. Une solution peu coûteuse

Un avantage primordial de l'entreposage de longue durée est son coût très faible. L'évaluation financière de la solution aux Etats-Unis donne une charge de 38 000 dollars par tonne de combustible irradié. Le CEA estime que le coût d'une solution d'entreposage sera inférieur à 1/20<sup>ème</sup> du coût d'un stockage géologique. Certains pourront objecter que, comme il faut refaire un entrepôt tous les 100 ans, la charge diverge sur le million d'années de vie des déchets. C'est vrai en valeur brute, mais si on actualise les dépenses, on arrive à un résultat très différent. Appelons C le prix du premier entrepôt et supposons qu'il sera constant pour les constructions futures, effectuées tous les 100 ans. Avec un taux d'actualisation de 2% (⇔ inflation), le coût actualisé de la solution vaut 1,16.C. Avec un taux de 5% (⇔ 2% d'inflation et 3% d'intérêts), il passe à 1,007.C. L'écrasement des dépenses futures fait plus que jamais son effet et la somme d'argent à dégager pour réaliser cette solution est négligeable par rapport aux autres alternatives.

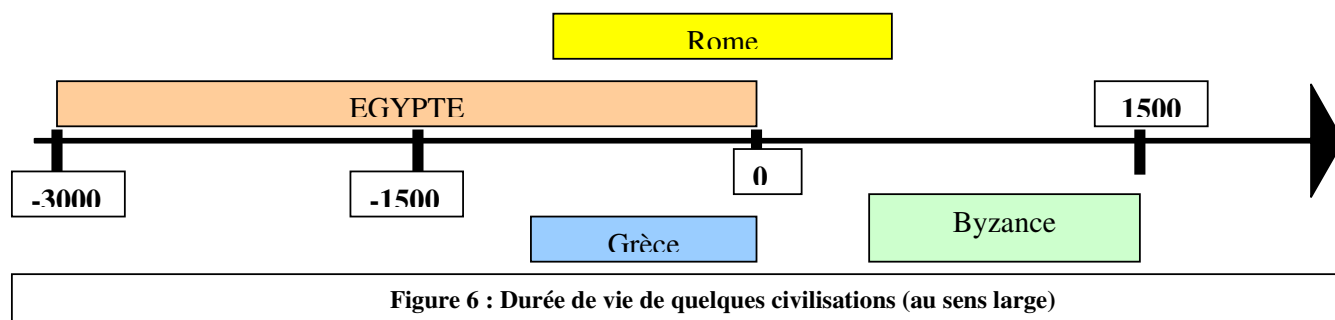
## 3. Le dilemme de la sécurité

Cependant, c'est une solution qui ne plaît pas pour plusieurs raisons. Si la sûreté radiologique est assurée sans aucun problème dans des conditions normales de fonctionnement, des événements de type exceptionnel rendent les entreposages fragiles. De la chute d'avion à la chute de la civilisation, de nombreux scénarii soulignent la vulnérabilité relative du dispositif. L'imagination est d'ailleurs sans limite dès qu'il s'agit d'entrevoir des catastrophes.

Pour préciser un peu cette impression, nous voyons que deux types d'échelle de temps s'affrontent lorsqu'on essaie d'évaluer la sûreté d'un entreposage. A court terme, sur les prochaines dizaines d'années, on a du mal à imaginer une perte brutale de savoir-faire, une crise économique soudaine qui ruinerait la France, une destruction totale de nos repères. Il n'est pas facile de poser une limite temporelle supérieure à cette certitude mais elle ne choque personne. Cet échelle de temps est, pour simplifier, celle de la vie humaine. Dans un siècle, nos arrière-petits-enfants s'occuperont de tout cela. Ils sauront le faire puisque nous les aurons vus, nous leur aurons passé le témoin.

A long terme en revanche, personne n'oserait émettre de certitudes sur la permanence de nos acquis et de notre savoir-faire. Il est aussi bien difficile de donner une limite temporelle basse pour cette échelle de temps. L'histoire humaine nous enseigne que toute civilisation est bien éphémère. Pour les plus sceptiques, nous avons retracé ci-dessous les périodes de domination de nos glorieux aînés de l'Antiquité. Le constat est assez frappant. Si puissants fussent-ils, ils finirent tous par décliner. Dans la vanité de notre rapport à l'Histoire nous aimerions penser que nous en sommes la fin. Il est bien plus sage d'imaginer pour nous ce qui fut le cas pour tous les autres. Dans quelque temps, nous ne saurons plus comment gérer nos entrepôts et nous n'aurons plus d'argent pour les entretenir.

L'entreposage de longue durée est donc bien une solution à un coup. Nous sommes certains que le premier entrepôt que l'on construira sera sûr. Le risque imaginable pour les suivants ira en s'amplifiant avec le temps qui passe.



#### 4. Impact social

D'autre part, une objection d'ordre moral s'additionne. Pouvons-nous laisser en legs *ad vitam aeternam* à nos descendants les déchets de notre bien-être et le risque afférant à l'inconnu ? En effet, l'impact social d'une telle solution est majeur. A chaque construction d'un nouvel entreposage, la réalisation de l'ouvrage, la surveillance, les manipulations de déchets, les risques encourus seront supportés par les générations futures. En contrepartie, nous ne leur laisserons qu'une somme d'argent à faire fructifier sans aucune garantie qu'elle soit disponible le jour où elle servira.

L'impact social sera aussi très fort dans le cas d'une déviance par rapport à l'utilisation normale de l'entreposage. Si celui-ci n'est plus entretenu, une contamination importante autour de l'ouvrage aura lieu. Si des terroristes s'emparent de son contenu, des dégâts considérables peuvent être imaginés.

Cette solution est donc loin d'être neutre dans l'héritage que nous léguons aux générations futures. Cette charge éthique est considérée par beaucoup comme inacceptable.

## 5. Une solution nécessaire mais pas ultime

Avant tout, l'entreposage est absolument nécessaire pour gérer les déchets radioactifs. Pour des raisons de souplesse dans l'aval du cycle, pour faire décroître la température des verres et combustibles afin d'optimiser l'emprise d'un stockage géologique, cette solution tient une place essentielle dans la gestion globale. Sa réalisation technique est désormais acquise même si on ne peut encore définir la durée de vie des installations actuelles. Des pistes sont explorées pour tester de nouvelles architectures qui pourraient tenir plusieurs siècles.

L'entreposage peut aussi apparaître comme un mode de gestion total des déchets. Cependant, la confiance que nous lui accordons est coextensive à celle que nous accordons à notre société. A court terme, elle nous semble possible ; à long terme, elle est tout simplement impensable.

### ***B. La séparation-transmutation***

#### **1. Le rêve de l'alchimiste**

##### **a) Principe**

Les alchimistes rêvaient de transformer le plomb en or : on a appris depuis que les réactions chimiques ne permettent pas de transmuter des éléments. En revanche, ce type de réactions se déroule tous les jours dans les réacteurs nucléaires. Ainsi, une idée séduisante pour se débarrasser des noyaux encombrants pendant plusieurs centaines de milliers d'années comme le plutonium ou les actinides mineurs, c'est de les transmuter en d'autres éléments dont les durées de vie sont beaucoup plus courtes (voire même dans des éléments stables qui ne seront plus radioactifs).

Prenons le cas du technétium 99, qui a une période de 210 000 ans. Si on le soumet à un bombardement neutronique, ce noyau peut en capturant un neutron se transformer en  $^{100}\text{Tc}$ , qui décroît avec une période de 15,8 s vers le ruthénium 100 qui est stable. Ce noyau est donc un bon candidat pour la transmutation.

Pour les actinides mineurs, on ne peut pas appliquer directement cette technique : la capture de neutrons mène à des éléments encore plus radiotoxiques. Par conséquent, on va plutôt chercher à fissionner les noyaux en utilisant des neutrons très énergétiques (dit rapides).

Les éléments à éliminer en priorité pour leur toxicité sont des noyaux plus lourds que l'uranium : l'américium, le curium et à un moindre degré le neptunium. L'étape suivante consiste à extraire des éléments plus légers (iode, technétium et césium en particulier), dont la mobilité potentielle dans l'environnement est élevée.

##### **b) La chimie à l'œuvre pour séparer**

On ne peut pas appliquer le même traitement pour tous les noyaux à transmuter. En outre, les combustibles irradiés contiennent une grande variété de produits de fission qu'on n'envisage pas aujourd'hui de transmuter. D'où la nécessité dans un premier temps de séparer après l'étape de retraitement les atomes que l'on souhaite transmuter et les autres.

Le procédé PUREX utilisé actuellement dans les usines de COGEMA La Hague permet de séparer U et Pu. Depuis 1991, le CEA a développé plusieurs procédés de séparation

qui, ajoutés au PUREX, permettent de séparer le neptunium, l'américium et le curium, ainsi que le technétium, l'iode et le césium.

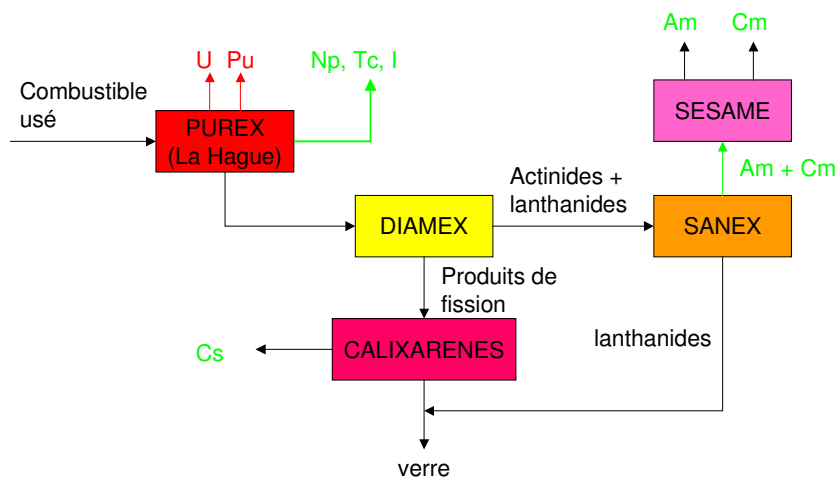


Figure 7 : Schéma du procédé de séparation

### c) La transmutation du plutonium

Avant d'évoquer la transmutation des autres éléments, il faut aborder le cas du plutonium. Celui-ci ne rentre pas dans le cadre des recherches autour de la loi de 1991 dans la mesure où il n'est pas considéré comme un déchet. Cependant, sa consommation est prioritaire sur toute stratégie de transmutation des actinides mineurs dans la mesure où il représente 90% de la radiotoxicité dans le combustible usé.

L'objectif est de stabiliser globalement l'inventaire de Pu associé à l'exploitation de l'ensemble du parc de réacteurs. Aujourd'hui, un monorecyclage du plutonium est pratiqué sous la forme de cœurs chargés à 30% en combustible MOX dans les REP 900. A terme, cette stratégie devrait permettre de stabiliser la quantité de plutonium.

En revanche, le multirecyclage du plutonium en REP n'est pas envisagé aujourd'hui pour des raisons de dégradation de la qualité isotopique. Les assemblages MOX usagés seront donc des réserves de plutonium pour le démarrage des réacteurs surgénérateurs.

### d) Scénarios de transmutation des déchets

Une fois l'étape de séparation réalisée, il s'agit de transmuter les éléments obtenus. C'est là où les choses se compliquent. Plusieurs outils peuvent être envisagés.

#### - Transmutation dans les REP :

Une première idée consiste à transmuter les déchets dans les réacteurs actuels, les REP, comme cela est fait pour le plutonium. On peut soit mélanger des actinides mineurs à l'uranium lors de la fabrication du combustible, soit insérer dans le cœur des assemblages constitués exclusivement d'actinides. Cependant, l'étude des sections efficaces de fission et d'absorption conduit à préférer plutôt des réacteurs à spectre rapide pour la transmutation des actinides.

#### - transmutation dans des réacteurs hybrides :

Un réacteur hybride est constitué par un réacteur nucléaire sous-critique et une source externe de neutrons capable de fournir le complément neutronique pour maintenir la réaction

en chaîne. Cette source est par exemple alimentée par un accélérateur de protons de haute énergie qui frappent une cible de métal lourd et génèrent un flux intense de neutrons. On parle également d'ADS (Accelerator-Driven Subcritical system). Le spectre neutronique du réacteur est rapide afin d'être plus favorable à la transmutation. Ces systèmes qui ne sont pas compétitifs pour produire de l'énergie seraient donc développés dans le but spécifique de transmuter les déchets. C'est pourquoi on parle de réacteurs dédiés. Ces systèmes sont encore aujourd'hui à l'état de projet : il n'existe pas de prototypes en fonctionnement, et il reste de nombreux verrous technologiques. En particulier, la fenêtre de spallation sur laquelle frappe le flux de protons doit garantir une bonne étanchéité entre le vide de l'accélérateur de particules et le cœur, et fournir un bon rendement de production de neutrons : c'est donc une des difficultés majeures à passer. De plus, afin d'obtenir une machine industrielle, il faut pouvoir garantir la fiabilité de l'accélérateur de particules au cours du temps, ce qui n'est pas une mince affaire.

En revanche, ce type de réacteurs donnerait une grande flexibilité pour incinérer les déchets. La date de 2040 est évoquée pour le déploiement possible de machines de ce type.

- transmutation dans des réacteurs de Génération IV :

Ces réacteurs qui seront a priori à spectre neutronique rapide sont les mieux adaptés pour la transmutation. En outre, leur objectif premier sera de produire de l'électricité : incorporer des déchets à incinérer au combustible de ces réacteurs permettrait donc une transmutation à moindre coût par rapport aux réacteurs dédiés. La difficulté est qu'aujourd'hui, ils n'existent pas à l'échelle industrielle : en France, les expériences sont menées dans le réacteur expérimental Phénix puisque le seul réacteur rapide industriel français Superphénix a été fermé en 1997.

## **e) Où en est-on en 2005**

L'axe de la séparation/transmutation est aujourd'hui beaucoup moins avancé que celui de l'entreposage. La démonstration de la faisabilité de la séparation pour les actinides mineurs, le technétium, le césium et l'iode semble acquise. En revanche, il reste encore beaucoup de travail pour industrialiser le procédé.

En ce qui concerne la transmutation, les résultats sont beaucoup plus mitigés. La transmutation de l'iode et du technétium a été abandonnée pour des raisons industrielles. Selon le rapport d'évaluation n° 10 de la CNE, les études menées par le CEA montrent clairement les avantages en terme de réduction de radiotoxicité mais aussi les inconvénients opérationnels (sûreté, radioprotection) de l'utilisation des REP, exploités soit seuls, soit en relation avec des RNR. Ces derniers offrent en revanche des performances meilleures. Des priorités sont aujourd'hui affichées par le CEA en faveur des réacteurs de génération IV. Ceci pourrait remettre en cause l'intérêt des réacteurs sous-critiques.

La CNE indique donc qu'« il est très vraisemblable qu'à l'échéance de 2006, aucun élément majeur concernant l'axe 1-transmutation ne sera disponible pour prendre une décision autre que celle de poursuivre les recherches ».

## **2. Quel problème est-on en train de résoudre ?**

### **a) La transmutation ne remplacera pas le stockage**

Les recherches réalisées depuis 1991 ont permis des avancées très importantes sur la transmutation. En revanche, on sait aujourd'hui que cet axe ne pourra pas se substituer intégralement au stockage. L'incinération des actinides mineurs pourra certes mener à des

produits beaucoup moins radiotoxiques et à durée de vie plus courte, mais il faudra tout de même gérer ces produits, que l'on n'envisage pas de transmuter à cause de leur extrême variété. De la même façon, il est illusoire de vouloir traiter tous les produits de fission. Par conséquent, il faudra soit entreposer soit stocker ces déchets finaux. En ce sens, cet axe n'est pas concurrent des deux autres mais bien complémentaire.

### **b) La transmutation victime du syndrome du réverbère ?**

Une fois tiré ce portrait de l'avancement de la transmutation et passé le moment de premier enthousiasme devant la marche de la science, le sceptique peut se demander à quoi servira finalement la transmutation si elle ne permet pas de se passer de stockage.

On peut arguer d'une augmentation de la sûreté du stockage. Mais, dans les scénarios imaginés par l'ANDRA, l'élément qui sera à l'origine du risque le plus élevé pour la population est l'iode 129, en raison de sa solubilité et de sa mobilité. Or, les recherches sur la transmutation de celui-ci ont été abandonnées. Les actinides mineurs, bien que très toxiques, sont très peu mobiles dans le stockage : par conséquent, les risques liés à ces matières sont comparativement plus faibles que pour les produits de fission.

A première vue, la transmutation pourrait donc avoir été victime du classique syndrome du réverbère : la nuit, on cherche ses clés près du réverbère non pas parce que c'est là qu'on pense les avoir égarées, mais parce que c'est le seul endroit éclairé où l'on puisse chercher.

Ce n'est cependant pas aussi simple. La focalisation sur les actinides mineurs a un sens dans la mesure où à très long terme, ils sont les plus gros contributeurs à la radiotoxicité du stockage. Certes, on peut avancer que leur mobilité dans l'argile est faible, mais à l'échelle d'un million d'années, le milieu géologique peut avoir considérablement évolué.

### **c) Un gain en sécurité mais à quel prix ?**

Evaluer le gain en sécurité qu'apporterait la transmutation n'est pas possible. De plus, les installations nécessaires pour réaliser la séparation poussée et la transmutation comporteront des risques qu'il faudrait prendre en compte pour évaluer le gain net en sûreté apporté par cette solution. Dans l'état actuel des recherches, cette évaluation est bien mal aisée.

Concernant le prix de cette solution, il y a au moins une certitude concernant les systèmes hybrides : développer un parc de réacteurs dédiés pour incinérer les déchets coûtera cher, même très cher. On peut imaginer que la transmutation dans des réacteurs électrogènes de génération IV soit un peu plus économique.

Dans tous les cas, cet axe s'inscrit dans une poursuite du nucléaire : il est ainsi parfois étrange d'entendre certains opposants se prononcer en faveur de l'arrêt du nucléaire et pour un développement de la transmutation.

### **d) Une réponse à des questions non scientifiques**

Il nous semble donc que cet axe de recherche, qui ne répond aujourd'hui à aucun critère quantitatif d'optimisation de la sûreté, répond en fait à des impératifs davantage éthiques que scientifiques.



### ***(1) Laisser ouverte la voie du progrès***

Tout d'abord, il est clair que l'homme de 1900 n'imaginait sûrement pas toutes les inventions réalisées au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. Il est donc probable que les découvertes de 21<sup>ème</sup> siècle nous surprendront et résoudront des problèmes qui nous semblaient jusqu'ici insurmontables. Par conséquent, conserver des recherches sur la transmutation laisse ouverte la voie du progrès, vers une solution qui serait assurément la plus satisfaisante intellectuellement. Mettre un terme à ces recherches, c'est empêcher l'émergence de nouvelles technologies.

### ***(2) Ramener les déchets radioactifs dans une perspective historique***

En outre, la période des produits obtenus après transmutation ne serait plus que de quelques centaines d'années, à comparer avec la période du neptunium 237 qui est de 2 100 000 ans. Dans le cas où seuls l'uranium et le plutonium sont extraits lors de l'étape de retraitement, on estime qu'il faudrait un confinement garanti pendant une durée de plusieurs centaines de milliers d'années. En revanche, si la transmutation est mise en place de façon industrielle, on peut espérer ramener cette durée à quelques milliers d'années, et faire perdre aux déchets nucléaires leur caractéristique trans-historique. En ce sens, la transmutation aurait un apport énorme. Tandis que l'on peut encore imaginer des durées de l'ordre du millier d'années, l'évocation du million d'années n'a aucun sens pour nous. La transmutation contribuerait à remettre les déchets dans le temps de l'histoire humaine.

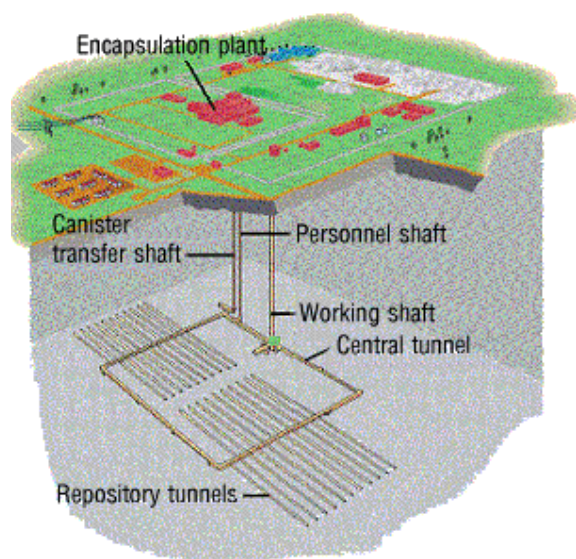
## **C. Le stockage**

### **1. Concept, description technique**

Les pays du monde que l'on considère généralement comme les plus avancés en matière de gestion des déchets HAVL sont ceux qui développent un programme d'étude du stockage géologique poussé. La Finlande, la Suède font souvent figure de référence. Les Etats-Unis ont mis en pratique le concept sur le site du WIPP (Nouveau-Mexique) pour leurs déchets militaires et essaient d'ouvrir un site à Yucca Mountain pour leur filière civile. La France s'est donné pour objectif dans la loi de 1991 d'ouvrir plusieurs laboratoires d'études souterrains pour étudier la qualité de nos roches.

Le concept est relativement simple. On enferme sous terre les déchets radioactifs dans des roches très imperméables de sorte que l'échelle de temps de migration des radionucléides soit supérieure à la durée de leur décroissance radioactive. Ainsi, on piège la radioactivité dans des structures stables à l'échelle du million d'années afin de protéger la biosphère de la nuisance. Des formations salines, granitiques et argileuses sont à l'étude dans divers laboratoires afin de quantifier la sûreté et le potentiel de rétention de ces structures ancestrales. Quelques phénomènes singuliers comme le réacteur nucléaire naturel d'OKLO au Gabon viennent étayer les avantages de ce concept. Les radionucléides produits de façon spontanée dans cette micro-centrale naturelle sont restés à proximité de leur lieu de création pendant deux milliards d'années. La stratégie de confinement semble alors réalisable.

De manière plus concrète, un stockage géologique se présente comme une mine avec un puit d'accès et différentes galeries souterraines pour la circulation des déchets. Ceux-ci seront déposés dans des niches creusées dans la couche et façonnées artificiellement.



**Concept de stockage finlandais dans le granite à Olkiluoto**

A priori, aucun type de roche n'est meilleur qu'un autre. Les Finlandais ont choisi de réaliser leur stockage dans le granite, les Allemands étudient préférentiellement le sel et le laboratoire de Bure, en France, caractérise une couche d'argile. Chaque type de formation a ses défauts qu'il faut redresser. Ainsi, un stockage géologique ne repose pas uniquement sur le bouclier naturel que constitue le milieu d'implantation. Un certain nombre d'autres barrières artificielles sont étudiées pour renforcer au maximum le confinement des déchets.

La sûreté du stockage chez les Finlandais et les Suédois repose en grande partie sur les conteneurs en cuivre qui enferment les combustibles irradiés. Les couches de granite qu'ils étudient sont en effet très fracturées, ce qui provoque une circulation d'eau importante. Ils assoient donc leur concept sur des barrières artificielles très performantes et coûteuses. Par opposition, les couches de sel étudiées par les Allemands sont très épaisses et fortement imperméables. Leur confiance dans le bouclier naturel est assez grande pour ne pas trop se préoccuper des barrières artificielles autour de leurs déchets. La France se situe grossièrement entre ces deux points de vue. Les verres contenant les déchets sont très robustes et ne se diluent que très lentement. Une barrière ouvragée en bentonite (un certain type d'argile) les isolera de la couche géologique. Celle-ci interviendra alors en troisième rideau.



existants. La Finlande a créé un fonds de 1,4 milliards d'Euros pour ses quatre réacteurs en fonctionnement. Cela correspond grossièrement à un coût par MWh produit compris entre 1 et 2 €. Un grand nombre d'incertitudes plane encore sur cette évaluation car il est bien difficile de prévoir quel sera l'état de nos techniques et leur coût dans quelques dizaines d'années. Ce prix apparaît donc plus comme un consensus entre ceux qui devront signer le chèque, ceux qui créent les concepts et ceux qui évaluent leur sûreté. Le ministère finlandais de l'industrie nous expliquait ainsi que ces acteurs se réunissaient tous les ans pour s'accorder sur l'évaluation de l'année. L'utilisation d'un taux d'actualisation est un autre facteur important de volatilité des coûts. Selon les hypothèses retenues, une large fourchette de prix peut être atteinte. Ainsi, décaler l'ouverture du stockage de 15 ans divise le prix par 2 (en actualisant à 5%).

Le coût très élevé de cette solution pose aussi le problème de la disponibilité des fonds pour couvrir les dépenses. Nous reviendrons sur ce thème plus loin.

### **3. Entre impact social et sûreté, le dilemme de la réversibilité**

La solution de stockage géologique jouit d'un consensus international auprès de la communauté scientifique. Elle apparaît comme la seule solution que notre société puisse apporter aux déchets que nous avons créés sans impliquer fortement les générations futures dans la démarche. Cependant si le temps de construction et d'exploitation d'un stockage souterrain est tangible (environ 80 ans, soit le temps de construction de Notre-Dame-de-Paris), l'idée de l'oublier pendant des centaines de milliers d'années paraît insupportable. Ainsi est née dans les esprits de la société civile l'idée de réversibilité.

#### **a) La coquille vide**

Cette notion n'a pas de sens propre si ce n'est celui de pouvoir faire les choses à l'envers. La terminologie anglophone donne d'ailleurs une acception différente puisqu'elle évoque la « retrievability », le fait de pouvoir récupérer les déchets si on le souhaite. En Finlande, on parle plutôt « d'ouvrabilité » du stockage. On se rend bien vite compte que le concept n'est en fait qu'une coquille vide que les différents acteurs remplissent à leur guise. Pour certains, il faut pouvoir reprendre les déchets pour les gérer autrement. Pour d'autres, il faut pouvoir y accéder pour les valoriser dans le futur. Quelques-uns cherchent à s'assurer contre de lourdes erreurs de conception *via* la réversibilité pour ne pas commettre l'irréparable. On entend aussi que de toute façon, un stockage est toujours réversible si on y met l'argent nécessaire. Même après fermeture, on peut refaire une mine pour reprendre les colis.

En outre, la notion de « stockage réversible » peut paraître antithétique à bien des égards. L'essence du stockage est en effet de trouver une solution définitive au problème sans que l'homme ait besoin de surveiller son ouvrage. L'idée fondatrice est d'enfermer les radionucléides à double tour pour qu'ils ne s'enfuient pas. Laisser le cadenas ouvert semble bien farfelu dans cette optique. Ainsi, de nombreux scientifiques considèrent ce concept comme une atteinte à la sûreté de la solution. Laisser des galeries ouvertes trop longtemps dégrade l'homogénéité de la roche et rend de plus en plus délicate la fermeture définitive de l'ouvrage. En voulant trop bien faire dans les premiers instants du stockage, on mettrait en danger la sûreté à long terme.

## **b) Adaptation internationale**

Les différents pays que nous avons visités ont adapté leurs projets de manière tout à fait différente. En Finlande, où le sujet est apparu lors de l'évaluation de l'impact environnemental en 1998, la société qui dessine le stockage a été relativement lapidaire. Sans rien changer, ils ont déclaré leur concept réversible car les conteneurs en cuivre ayant une durée de vie extrêmement longue, ils pourront toujours être récupérés par des travaux miniers. Quant à la date de fermeture de l'ouvrage, ils ont tout le temps pour y réfléchir.

En Allemagne, la réversibilité n'est pas considérée comme une bonne alternative. Les différentes mines de sel étudiées ne se prêtent pas du tout à cette notion. En effet, les couches salines ont un comportement plastique important. Les galeries se rebouchent naturellement à grande vitesse (de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres par an). Il est donc très difficile de les maintenir ouvertes. En outre, la sûreté à long terme est définie en Allemagne comme le premier critère de choix d'un site. Tout ce qui pourrait la dégrader, comme la réversibilité, est banni.

En France, jusqu'aux soulèvements populaires des années 1980, tout avait été conçu pour que les stockages soient fondamentalement irréversibles. Faire basculer les scientifiques vers un autre concept sous la pression de la société civile ne fut pas chose aisée. L'ANDRA conçoit maintenant la réversibilité comme une notion graduelle. Petit à petit, galerie après galerie, le stockage deviendra de moins en moins réversible. Différentes étapes de fermeture sont alors définies avec la possibilité à chaque fois de clore un peu plus l'ouvrage ou de revenir en arrière.

## **c) Réversible : oui mais combien de temps ?**

La temporalité de la réversibilité est aussi un paramètre intéressant. En effet, un stockage qui reste réversible toute sa vie est un simple entreposage souterrain. Le rendre irréversible dès la fin de la période d'exploitation ne semble pas acceptable socialement. Le stockage doit donc rester réversible tant qu'il ne devient pas irréversible. Cette lapalissade peut prêter à rire mais elle définit exactement ce que doit être un stockage. Il appartient à notre génération de le concevoir pour qu'il puisse être réversible, pour que nos descendants, s'ils développent de meilleures solutions que les nôtres, puissent récupérer nos déchets et les traiter. Il doit aussi être conçu pour que les générations futures, si elles pensent que nous avons mis en œuvre la meilleure solution, puissent le fermer définitivement et l'oublier, seul gage de la durabilité du concept.

## **4. La voie de référence**

De nombreux retours d'expérience internationaux sont désormais disponibles sur le stockage géologique. Même si dans la quasi-totalité des cas, le stade industriel n'a pas encore été atteint, de très nombreux progrès ont été réalisés vers une meilleure connaissance des roches, vers un affinement des concepts multibarrières et vers des études de sûreté conséquentes.

Le stockage géologique apparaît aujourd'hui comme la solution de référence si nous voulons que notre société règle ses problèmes et ne lègue à nos descendants que la possibilité d'avaliser nos choix ou de mieux faire. La réversibilité, demande morale de la société, permet en définitive de laisser le choix aux générations futures. Le stockage géologique n'est pour nous qu'un entreposage avec option. L'option pour le futur de choisir la voie la plus sûre.

## ***D. Comment décider sur ces 3 options : ce sera une décision politique***

### **1. Qu'est-ce que décider sur ces 3 options**

Nous nous sommes souvent posés la question au cours de notre étude : qu'est-ce qui poussera le législateur à décider en 2006 ? En effet, sur un tel sujet, l'idée répandue est qu'il n'y a que des coups à prendre, et que par conséquent, un homme politique normalement constitué devrait soigneusement éviter d'aborder un tel sujet. A partir de là, la facilité serait de ne rien faire, si ce n'est étendre les hangars et prolonger les recherches encore 15 ans.

Ne pas se prononcer sur le sujet, et laisser les choses telles qu'elles sont, constitue déjà une décision (celle de l'entreposage). Il n'existe donc pas de non-décision : il y a simplement des décisions plus ou moins explicites.

Par ailleurs, il faut saluer l'implication des députés de l'OPECST et en particulier de MM. Birraux et Bataille. Il n'y avait déjà que des coups à prendre sur un tel sujet en 1991, et ils ont pourtant fait voter une loi sur la gestion des déchets radioactifs totalement innovante dans le paysage législatif français. Aujourd'hui, poursuivre le processus n'est certainement pas la première priorité sur l'agenda gouvernemental. Cependant, il nous semble qu'il y a une nécessité d'avancer sur le sujet : l'échéance de renouvellement du parc nucléaire français approche, et une position claire sur la gestion des déchets permettra d'aborder cette date avec plus de transparence.

A contrario, décider n'est pas forcément éliminer 2 axes et ne plus compter que sur le troisième. Comme l'indique le rapport Birraux-Bataille de 2005, les 3 axes apparaissent aujourd'hui davantage complémentaires que concurrents. Il ne s'agit pas de restreindre à nouveau le champ des possibles, mais plutôt de se donner une feuille de route.

### **2. De quels critères d'évaluation dispose-t-on ?**

Une fois établie cette nécessité d'avancer, il faut s'interroger sur les critères qui permettront d'évaluer les différentes options. Un adepte de la rationalité des choix souhaiterait donc connaître les échéanciers de dépense relatifs à chaque axe, les gains en sûreté obtenus et les budgets de recherche à engager. On pourrait même essayer d'envisager de donner des probabilités de succès aux différentes approches, afin de décider en réalisant une optimisation technico-socio-économique.

Le panorama de la situation aujourd'hui démontre l'inanité totale d'un tel projet. Il n'est déjà pas possible de déterminer la probabilité de défaillance d'un stockage géologique, comment calculer l'impact en terme de sûreté si la quantité d'actinides contenus y a été diminuée grâce à la transmutation ? Il s'agit là d'un impact positif certainement, mais de là à le chiffrer, c'est une autre histoire. Par ailleurs, la complexité des scénarios possibles, les interactions avec des questions aussi imprévisibles que les coûts futurs de l'énergie, de l'uranium, tuent dans l'œuf toute tentative d'optimisation. Enfin, si la décision est prise uniquement sur des critères économiques, le choix du taux d'actualisation peut faire pencher dramatiquement la balance suivant qu'il est pris élevé ou bas.

Il nous semble par conséquent que la décision qui sera prise en 2006 sera de nature politique. Cette affirmation a une nature quelque peu tautologique dans la mesure où c'est justement le Parlement qui sera amené à se prononcer en 2006. Mais ceci signifie aussi que la décision reposera en partie sur des critères moins mathématiques comme l'acceptabilité

sociale de chacun des axes. Loin de nous l'idée de retirer toute valeur aux évaluations préliminaires des coûts et des bénéfices. Simplement, il faut accepter que les incertitudes sont telles que les critères sociaux ont des poids équivalents à ceux scientifiques et économiques.

C'est également pour cette raison que la décision prise en 2006 doit ménager des possibilités d'adaptation. Il est certain que des découvertes techniques seront faites dans le siècle à venir : la réversibilité ou l'entreposage sont des outils qui permettront de les prendre en compte dans le futur.

## ***E. L'approche française, un choix de gestion***

L'approche française consacrée par la loi de 1991 a consisté à rouvrir les possibilités techniques. Cependant, le processus engagé depuis 15 ans a eu également des implications locales, en particulier pour le site du laboratoire à Bure. Ainsi, une question naturelle qui se pose à la veille de 2006 est : doit-on séparer la question du mode de gestion des déchets de la question du choix d'un site ? Par exemple, doit-on retenir simplement le principe de l'entreposage ou faut-il retenir le principe d'un entreposage sur le territoire de la commune X ? La même question peut se poser avec la transmutation et le stockage.

### **1. Des variables locales et nationales qui ne sont pas séparables**

Il n'est pas aisé de répondre de manière irréfutable à cette question. Un argument qui plaide en faveur d'un traitement simultané du choix des options et de leur lieu d'implantation est la difficulté de séparer les variables. En effet, choisir simplement un principe de gestion peut mener à une impasse lorsqu'il faudra le mettre en œuvre. Les obstacles rencontrés dans les années 80 pour implanter des laboratoires souterrains sont un exemple de cette impasse : le principe de gestion était clair pour le gouvernement, et pourtant rien ne pouvait être réalisé sur le terrain.

En outre, des évolutions notables se font jour à l'interaction entre le niveau local et le niveau national. L'exemple classiquement cité est la réversibilité, exigence qui est apparue autour des projets de laboratoires souterrains.

Enfin, en France, les variables sont devenues de fait extrêmement intriquées pour le stockage géologique à cause de l'existence d'un seul laboratoire souterrain. Dans la mesure où les tentatives d'implantation d'autres laboratoires ont échoué, l'option du stockage géologique est devenue de plus en plus l'option du stockage géologique à Bure. Dès lors, organiser un débat sur les principes de la gestion des déchets devient redoutablement difficile. Il est inévitable de voir s'y inviter des opposants locaux au laboratoire de Bure. L'historique a donc fabriqué une intrication intime des variables locales et nationales, et il est tentant d'accepter cet état de fait, en refusant de dissocier le débat de principe des débats locaux.

### **2. Découpler les décisions de principe et de site permet d'avancer par étapes**

Toutefois, l'exemple finlandais (décrit en annexe) montre une stratégie qui a été complètement inverse. Le mode de gestion par le stockage géologique a d'abord été inscrit dans la loi puis le site a été sélectionné au terme d'une procédure définie. Or, la Finlande est bien souvent citée comme modèle pour sa réussite dans l'implantation d'un site de stockage

bien accepté socialement (bien que ce ne soit pour le moment qu'un laboratoire souterrain). Le fait d'avoir découplé la décision sur le mode de gestion des déchets de la procédure de sélection du site est peut-être un des facteurs qui explique ce succès. Ce n'est probablement pas la seule raison, et il n'est pas non plus question de vouloir appliquer brutalement dans tous les pays ce qui a marché dans un seul.

Cependant, le découplage des questions comporte indéniablement des avantages. Il permet d'avancer par étapes sans se heurter à toutes les oppositions à la fois. Le débat public organisé en France à la fin de l'année 2005 doit porter sur les options générales de gestion des déchets : ceci est une première pour la Commission Nationale du Débat Public qui jusqu'à maintenant n'avait mené que des débats autour de projets déterminés dans l'espace. On pourrait y voir un pas vers un débat de principe qui précéderait un débat sur les sites d'implantation (d'entreposage, de transmutation, de stockage, selon les conclusions du débat de principe). Pourtant, il est fort probable que dans les débats apparaîtront des oppositions du type NIMBY. Ceci n'est pas en soit condamnable mais peut mener à une certaine confusion.

Il nous semble que découpler les deux questions est souhaitable mais que la situation actuelle en France ne s'y prête pas facilement du fait de l'existence d'un seul laboratoire. Un chemin se construit en posant une pierre après l'autre : mélanger tous les problèmes en même temps n'arrange rien. Par conséquent, il nous semble que le choix du mode de gestion devrait être découplé du choix du site, et cela peut être réalisé en fixant deux échéances différentes pour ces deux décisions. Il faut également trouver un moyen de contourner l'historique français, qui, en dépit d'expériences menées à l'étranger, a mené à un seul laboratoire à Bure.

#### ***IV. Implantation d'un stockage géologique : regards sur les expériences allemande et finlandaise***

La mise en politique française de la question des déchets radioactifs arrive à son terme en 2006. Comme nous l'avons vu auparavant, le caractère intrinsèquement politique de ces objets techniques impose à notre société de continuer sur cette voie. Il nous faudra donc continuer le processus en évitant de replacer la responsabilité du problème dans la sphère technique. Nous venons de voir que le stockage géologique semble inéluctable si notre génération veut faire de son mieux pour gérer ses déchets. Nous allons maintenant essayer d'analyser les exemples allemand et finlandais qui ont centré leur attention politique sur la procédure du choix d'un site. Les enseignements tirés de l'expérience de ces deux pays pourront être bien utiles pour le futur de la démarche française.

##### ***A. La procédure de choix du site***

###### **1. Tout le monde en parle**

La procédure de choix du site pour un stockage géologique semble être un déterminant commun extrêmement large des parties prenantes à la question des déchets. Tout le monde est d'accord pour souligner son utilité, son absolue nécessité. L'agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE a théorisé son point de vue en définissant les caractéristiques d'un « stepwise decision making process ». Les Verts allemands, opposés à l'énergie nucléaire, ont remis à plat toute la démarche de gestion des déchets dans leur pays car ils ne trouvaient pas la démarche adoptée transparente. Le groupe Akend, créé pour répondre à cette volonté de repartir de zéro, définit une nouvelle procédure de choix de site en 2002. Ainsi, des groupes



pro-nucléaires aux organes anti-nucléaires, un consensus large s'établit autour de cette volonté de cadrer la démarche. C'est en soi quelque chose d'exceptionnel dans la thématique des déchets nucléaires.

Cependant, il semble que pour beaucoup d'acteurs, la procédure du choix de site soit avant tout un coup à deux bandes. La vocation de l'AEN est de développer les bases techniques et juridiques de ses pays membres pour une utilisation sûre et économique de l'énergie nucléaire. Son objectif dans la mise en place d'une procédure claire, est ainsi d'assurer que la question des déchets ne vienne pas fragiliser l'ensemble de la filière. A *contrario*, différents acteurs en Allemagne nous ont éclairés sur les objectifs du Ministre de l'Environnement. Celui-ci souhaite qu'aucune décision concrète ne soit prise sur la question des déchets avant la date de sortie du nucléaire. En discutant de la procédure, on ne parle pas des déchets. En jouant la montre, il entretient les critiques sur l'énergie atomique, en particulier le manque de solution finale. Depuis la publication en 2002 de la procédure consensuelle de l'Akend, rien n'a été décidé.

La procédure de choix d'un site pour le stockage géologique est en soi un objet potentiel de polémique. Il déplace la question des déchets d'une controverse technique à une controverse sociale avec les mêmes écueils possibles. Si la technocratie laisse sa place à la sociocratie, la question des déchets sera de nouveau la grande perdante.

## 2. Quels sont les objectifs

Il faut donc revenir sur les questions fondamentales soulevées par l'aval du cycle nucléaire pour comprendre quels doivent être les objectifs d'une procédure de choix d'un site.

- Le site doit tout d'abord répondre à certains critères techniques car on ne peut pas installer un stockage géologique dans n'importe quel bout de roche. La procédure doit donc répondre à un volet scientifique précis dont l'objectif est d'assurer les conditions de sûreté à court et long termes.
- La décision de choix du site doit paraître légitime. Il faut pour cela assurer en priorité la crédibilité des décideurs et leur représentativité. Cela peut poser de sérieux problèmes entre des niveaux locaux et nationaux de décision.
- La procédure doit répondre au problème de l'équité. Comme nous l'avons vu auparavant choisir un site est une décision profondément inéquitable. La démarche doit donc trouver des moyens de déceler les conséquences du choix et de compenser ses désagréments.
- La décision doit être réalisable. Elle ne doit pas entraîner des émeutes sans fin, ou des blocages physiques. Elle doit aussi faire preuve de pragmatisme en ne confondant pas temps politique et temps des déchets.
- La procédure doit enfin sécuriser les investissements car des sommes considérables sont en jeu dans la gestion des déchets. Il faut ainsi clarifier les étapes de la décision avant d'effectuer des dépenses importantes.

Face à ces objectifs généraux auxquels la mise en œuvre d'un choix de site doit répondre, de nombreux obstacles se dressent. Nous allons maintenant en dresser les principales caractéristiques en évoquant les cas que nous avons étudiés.

## **B. Les obstacles**

### **1. Critères géologiques**

Les obstacles les plus objectifs au choix d'un stockage sont naturellement les caractéristiques géologiques de la roche. Le site doit répondre à des exigences particulières dues à la nature des déchets radioactifs. En France, lors de l'appel à candidature lancé par le député Bataille pour l'ouverture d'un laboratoire d'étude, le département de la Vienne s'était porté candidat. Leur granite étant apparu trop fissuré aux yeux de la CNE, ce site ne fut pas retenu pour la suite de la procédure. Nous ne rentrerons pas plus dans les détails car ce n'est pas l'objectif de ce travail. Nous retiendrons simplement que cet obstacle n'est pas négligeable car les lieux acceptables pour accueillir un stockage sont limités par la géologie. A l'échelle d'un pays, il ne reste parfois que peu d'alternatives.

### **2. Opinion publique générale**

La solution de stockage géologique porte aussi en elle une connotation très particulière dans l'imaginaire de l'homme. L'opinion publique générale voit cette solution comme un déni de responsabilité. En suivant l'étude sur la perception des déchets nucléaires de Ph. D'Iribarne, « on enfouit pour oublier ». On essaye d'enterrer les fruits toxiques de la technique dans les entrailles de la terre en cumulant deux péchés. Le premier est de souiller la nature avec des créations artificielles. Le deuxième est de laisser à l'abandon, sans surveillance, des êtres profondément dangereux qui pourraient revenir nous empoisonner.

A ce titre, il est intéressant de souligner la bataille lexicale que se livrent les différentes parties prenantes pour gagner la bataille des perceptions. Les pro-nucléaires parlent de stockage géologique voire d'entreposage géologique, connotant quelque chose de bien rangé, de propre, de sérieux. Les anti-nucléaires évoquent l'enfouissement, avec l'idée de la pelletée de terre que l'on jette sur le corps sans vie du soldat inconnu. Cette lutte se retrouve dans les trois pays que nous avons étudiés. Par exemple, en Finlande, le *geological depository* ou *waste disposal* s'oppose au *deep buryal*.

Les images font aussi partie de cette guerre de l'imaginaire. Les associations anti-nucléaires associent sans cesse les déchets à la mort dans leur affiches. Une mort incarnée comme l'homme à la faucille qui viendra plus tard et inéluctablement couper nos têtes. Les dessins colorés en trois dimensions du concept de stockage ont souvent du mal à contrecarrer cette attaque directe sur le front de nos perceptions.

Cet obstacle venant de l'opinion publique générale touche directement la légitimité de la solution que l'on cherche à mettre en œuvre. Il n'est pas insurmontable mais il peut se nourrir de la polémique et de la publicité autour des déchets. Les perceptions évoluent dans le sens de ceux qui savent le mieux colorer les objets.

### **3. Oppositions locales**

Parler de site c'est parler d'une communauté plus ou moins bien définie qui se sent concernée plus que les autres par la question des déchets. L'obstacle de l'opposition locale vient de l'appréhension de cette communauté à recevoir des objets à double sens négatif, « déchets » et « nucléaires ». Cet affront local nous paraît tout à fait naturel car sans contrepartie, aucun site n'a intérêt à recevoir un stockage géologique. Ce que beaucoup dénoncent comme un affreux syndrome (terme médical intéressant) *Not In My Back Yard* ne se sont jamais positionnés dans la peau d'un membre de la communauté. La posture de

l'opposition nous paraît tout à fait normale. En outre, nous ne voyons pas pourquoi une procédure de choix parfaitement démocratique pourrait faire changer ce point de vue si elle ne donne rien en échange. Il faut des contreparties sans quoi personne n'a intérêt à accepter un stockage chez lui. Par exemple, on loue très souvent la Finlande pour sa procédure démocratique. Or, sur les quatre sites pressentis, les seuls où l'acceptabilité locale était forte sont ceux qui pouvaient recevoir le prochain réacteur EPR et donc assurer emplois et impôts sur quelques dizaines d'années. Les autres n'avaient que faire de leur droit de veto ou des nombreux forum de discussion avec les opérateurs. Ils n'avaient pas intérêt à recevoir les déchets.

On peut essayer de décliner les conséquences négatives d'un stockage dans une région : prix des terrains, des maisons, image ternie du territoire, mauvaise publicité pour des produits locaux (poulets de Bresse, vigneron du Gard),...Cependant, ces points ne se retrouvent pas partout et des généralités dans ce domaine amènent parfois à des contresens. Ainsi, la commune d'Eurajoki qui accueille le laboratoire d'étude finlandais s'est présentée à nous comme la ville la « plus électrique » de Finlande, affichant avec fierté son complexe nucléaire et son stockage futur.

Un dernier point intéressant de l'opposition locale est son caractère parfois international. Les différents opposants que nous avons vu en Allemagne connaissaient très bien certaines personnes de Bure en France. Ils se réunissaient de temps en temps pour échanger sur les actions qui marchent. Une grange a été rachetée à Bure par un groupe d'Européens pour établir leur quartier général et protester contre le laboratoire. Il ne faut donc pas séparer artificiellement opposants au nucléaire et opposants locaux car ces deux groupes sont parfois les mêmes.

L'opposition locale se singularise donc par son caractère tout à fait justifiable et par son hétérogénéité d'objectifs. Elle exprime tantôt une demande légitime de compensation, tantôt une lutte farouche contre le nucléaire, tantôt un rejet pur et simple du projet.

#### **4. Opposition au nucléaire**

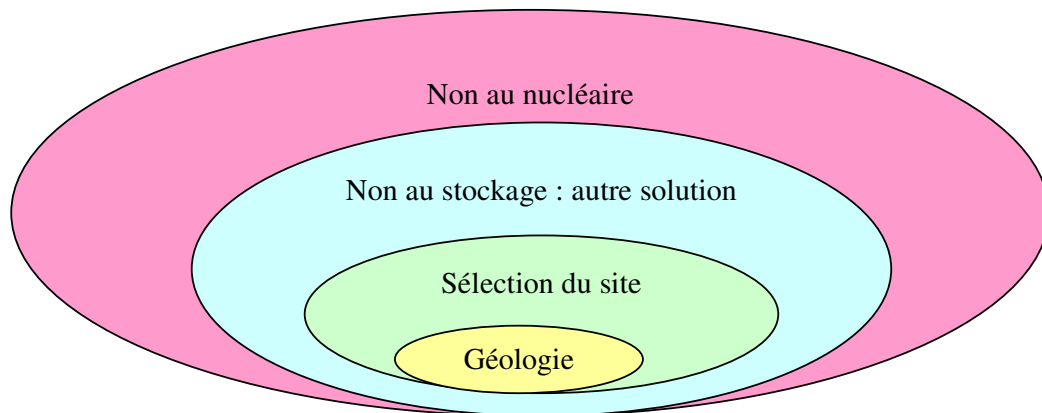
Nous avons déjà évoqué la posture de certaines associations anti-nucléaires qui utilisent la question des déchets comme angle d'attaque pour tuer l'industrie atomique. Cette opposition est d'une importance considérable car c'est elle qui a souvent le plus d'écho dans les médias. Elle est aussi très bien représentée dans les instances de discussion et aura sûrement un rôle central dans le futur débat public en France.

En regroupant plusieurs témoignages en Allemagne, nous avons pu reconstituer le schéma stratégique des groupes d'opposition outre-rhin (la posture en Finlande et en France est tout à fait comparable).

- L'attaque fondamentale n'est pas celle du nucléaire mais celle de la qualité géologique du site de Gorleben. La controverse du « Gorleben channel » vient souligner les doutes scientifiques sur l'opportunité de choisir ce dôme de sel.
- Ainsi, le site a été mal choisi et il faut trouver une nouvelle procédure pour sélectionner un site bien plus adéquat. La nouvelle procédure ayant été choisie, on voit que rien ne se passe et que personne ne veut du stockage.
- Cette solution n'est donc pas la bonne et il faut en trouver une autre. Par exemple, l'entreposage au pied des centrales semble faire l'affaire.
- Cet entreposage pose des problèmes de sécurité importants en laissant autant de matière radioactive à proximité des réacteurs qui pourraient exploser et disséminer les déchets dans la nature.

- La seule solution est donc de sortir du nucléaire car tout ce qu'on a essayé auparavant a failli.

Cette stratégie d'élargissement du thème de discussion à chaque étape guide naturellement le raisonnement vers la sortie du nucléaire. Le rôle des opposants est de bloquer la discussion à chaque niveau pour pouvoir remonter au niveau de réfutation suivant.



**Attaque en profondeur des opposants au nucléaire :**  
**l'élargissement successif du débat**

## 5. Financement de la construction

Un dernier obstacle plus technique se pose dans la mise en œuvre d'un stockage géologique. En effet, les durées de construction et d'exploitation s'étalent sur des dizaines d'années. L'argent nécessaire à ces travaux doit être disponible sur une telle échelle de temps pour permettre une gestion optimale des déchets. Il faut donc trouver des moyens d'assurer cette garantie financière.

### ***C. L'acceptabilité sociale***

Ces différents types d'obstacles sont souvent regroupés sous le terme étonnant d'acceptabilité sociale. Il est intéressant d'éclairer ce concept car il cache parfois un certain nombre de partis pris et d'objectifs qu'il est difficile de percevoir d'emblée.

#### 1. Une notion floue et parfois dangereuse

La singularité de cette notion tient en plusieurs points. Traduction hâtive de l'anglais « acceptability », le sens donné à ce terme dans notre langue n'est pas l'acception historique du terme. C'est donc une notion nouvelle qui fut inventée à notre époque pour tout ce qui concerne les risques industriels et sociétaux. Donner une définition n'est pas chose aisée tant chacun y trouve ce qu'il y cherche.

Ainsi, un certain nombre d'acteurs du nucléaire n'y voient que le canal par lequel ils doivent faire accepter leurs décisions. Ils considèrent la démarche comme un simple enrobage du cadeau pour le rendre plus sexy. Se demander s'il répond aux attentes n'est par pour eux le cœur de la question.

La dérive inverse à laquelle cette notion peut conduire est d'imaginer que l'ensemble de la société doit accepter la solution. Ce biais d'acceptation totale fait nager les acteurs derrière tous les bateaux de la course. Une schizophrénie maligne les pousse à vouloir contrer tous les arguments des opposants et à vouloir accepter tous les compromis de la terre.

L'objectif de l'acceptabilité sociale n'est pas non plus très bien défini. Certains y verront la recherche d'un consensus général sur un modèle accepté de gestion. D'autres n'y voient que le but d'écarter les oppositions les plus féroces et les plus bruyantes.

En outre, cette notion est un formidable alibi pour tous les acteurs qui permet de mélanger les questions de forme et les questions de fond dans une pagaille générale. L'information et la transparence sont ainsi les armes favorites de tous les bords. Utilisées à tort et à travers comme le glaive ou le bouclier, on se porte des coups sur des notions qui n'ont pas de contenu propre. Le cas de Yucca Mountain comportant quatre millions de pages, on ne pourra nier la présence d'informations. La transparence est à l'évidence inversement proportionnelle à l'épaisseur du dossier !

Un dernier écueil de cette notion nous semble être la propension de certains acteurs soit à vouloir expliquer tous les problèmes par les sciences sociales, soit à vouloir utiliser la sociologie pour manipuler les opinions et atteindre leur objectif. Afin de clarifier cette convocation des sciences sociales dans la controverse technique, nous allons décrire rapidement les deux visions principales de l'interaction entre le social et le technique.

## **2. Recherche dans la sphère civile des problèmes du débat**

Lorsque la controverse technique est engagée par la sphère civile, beaucoup cherchent à consulter les sciences sociales pour comprendre une telle intrusion. Psychologie, sociologie, parfois même psychanalyse sont recrutées pour éclairer les comportements. En prenant l'image de deux bulles venant se rejoindre pour échanger leur contenu, cette démarche se demande pourquoi la bulle civile vient se frotter à la bulle technique pour la détourner de son chemin. On vient donc chercher dans les fauteurs de trouble les causes d'une telle intrusion. On voit ainsi que cette démarche est quelque peu biaisée. En effet, rien ne dit que par leurs comportements, par leurs choix politiques ou techniques, les décideurs en place n'ont pas attisé la controverse et nourri sa source. En repoussant les causes du trouble chez le voisin, cette recherche « sociale » permet de ne pas balayer devant sa porte. On peut citer en exemple une étude des années 1970 sur les centrales nucléaires. Elle montrait que les gens n'en voulaient pas car le symbole phallique des tours aéroréfrigérantes leur rappelait leur relation au père. Nous ne nous permettons pas de juger si cette hypothèse est pertinente. Nous constatons juste qu'elle est bien confortable pour tout promoteur de projet car elle le dédouane de ses actions. Elle semble aussi donner des solutions magiques pour régler les différends. En effet, une meilleure communication ou un meilleur échange d'information peuvent dans ces cas soigner les malades.

### **3. Recherche à l'interface des sphères techniques et civiles des problèmes du débat**

Un autre type de démarche consiste à rechercher dans les interactions entre les différentes parties prenantes d'une controverse la source des conflits. Des mécanismes décisionnels non adaptés, des modes de communication et de concertation absents ou inefficaces rendraient insolubles la résolution des conflits. Les aspects sociaux du débat ne sont alors pas très pertinents. Ils ne le deviennent que par interaction avec des choix techniques et des décisions politiques. La controverse n'est plus vue comme un obstacle à la réalisation d'un projet aveugle. Elle s'inscrit plutôt dans l'évolution naturelle de la démarche scientifique. L'évolution d'un objet de recherche se fonde sur la formulation de nouvelles hypothèses ou de nouvelles pistes. Le chercheur et la découverte alimentent ce genre d'évolution. Cependant, ce ne sont pas les seuls à pouvoir essayer de guider la technique vers de nouveaux horizons prometteurs. La sphère civile peut aussi être une force de proposition importante pour sortir les milieux scientifiques des schèmes de leur pensée. Par exemple, le concept de réversibilité est souvent décrit comme émanant de demandes locales. Cette requête de la société civile mit beaucoup de temps à être acceptée par les experts techniques. Elle a réorienté assez largement les recherches en cours.

L'interaction entre les sphères techniques et sociales apparaît alors comme un « forum hybride » où se côtoie des visions, des modes de pensée et surtout des intérêts divergents. Les débats deviennent aussi bien techniques, qu'économiques ou politiques. Le rôle des sciences sociales serait alors d'organiser les interactions, de définir les modes de concertation pour trouver une voie de sortie à la controverse.

### **4. Mise en pratique des modèles, regard pragmatique**

Nous n'avons pas la compétence pour juger de la perspicacité d'un modèle de représentation. Cependant, il nous semble que chacune de ces approches permet d'appréhender sous un angle intéressant la controverse sur les déchets nucléaires. Il faut simplement garder en mémoire les hypothèses et limites de ces modèles.

Dans l'optique de la première approche, convoquer les sciences sociales pour atteindre une acceptabilité sociale peut-être en tout point dangereux car cela ne répond pas forcément aux sources du problème. Cependant, un sujet comme les déchets nucléaires n'est pas neuf. On ne peut négliger l'historique du thème. Sur un site comme Gorleben en Allemagne, où des recherches se font sur place depuis presque 30 ans, le poids du passé est lourd. Nous avons recueilli de nombreuses anecdotes à portée presque mythique sur le géologue prétendant chercher du pétrole et sondant le sel. Les gens s'insurgent contre un achat des consciences par le gouvernement pour faire accepter le laboratoire à la fin des années 1970. D'après les témoignages que nous avons recueillis, les acteurs locaux à l'origine n'étaient pas profondément opposés à l'accueil d'un stockage. Un certain nombre de représentations semble alors émerger sur un site mêlant vision de la controverse technique et héritage historique. De même, au niveau national, des événements ou des politiques nucléaires antérieures façonnent une vision a priori du problème, sans même rentrer dans les détails de la controverse. Eclairer cette donnée historique n'est donc pas anodin pour ne pas tout confondre dans le débat technico-social.

D'autre part, dans l'optique de la deuxième approche, il nous semble que le concept de forum hybride sous entend que tout le monde ait envie de discuter, d'interagir autour de la table. La situation dans les milieux nucléaires nous semble sensiblement différente. S'il est vrai que la majorité des acteurs vont dans ce sens, on ne peut écarter d'un revers certaines

parties prenantes dont les objectifs sont radicaux et qui ne veulent déroger à leurs intérêts directs. Lorsque nous sommes allés rendre visite à l'association GreenPeace par exemple, le message était clair. Ils ne discuteront pas des déchets tant que la sortie du nucléaire ne sera pas effective. On voit aussi du côté d'EDF, une volonté prépondérante de réaliser un stockage géologique. Dans ces cas là, discuter d'alternatives devient difficile.

Enfin, le processus de réouverture des possibles et de reformulation des problèmes n'est pas sans limite. A partir du moment où la seule alternative pour faire rebondir le débat est de l'élargir et de l'élargir encore, le forum hybride quitte la scène de la controverse pour atteindre l'univers des confusions. Un objet scientifique n'est jamais pur et détaché de son contexte. L'exemple des déchets nucléaires le montre bien. On peut critiquer les projets de recherche, les alternatives de recherche, la politique énergétique qui impose le nucléaire, le mode de vie de nos sociétés qui consomment trop d'électricité... Il faut donc être relativement modeste sur les aboutissants d'une telle démarche.

## ***D. Des clefs pour un succès***

En synthétisant l'expérience des trois pays que nous avons visités, quelques pistes de bonne gestion se dégagent qui semblent traverser les frontières. Il n'est pas très facile de séparer les conditions politiques et historiques d'un pays de la gestion de ses déchets nucléaires. L'arrêt des exportations en Finlande aura été un élément positif pour la mise en route d'un stockage. La sortie du nucléaire en Allemagne aura déclenché un moratoire sur l'ensemble de la filière. Ce qui suit n'est donc pas un cahier de route à suivre à la lettre mais plutôt quelques tendances de fond sur lesquelles une bonne gestion doit s'appuyer.

### **1. Clarté des étapes et des responsabilités**

En voyant les grandes difficultés de pays comme l'Allemagne, qui ne suivent aucun processus politique précis, la clarté dans le déroulement de la démarche nous semble être un point très favorable. Cela permet à la fois de planter au bord de la route les jalons de la gestion et d'assurer le suivi optimal entre deux étapes pour bien signifier la continuité du processus. Il est étonnant de voir à quel point tout le monde se réfère à la loi de 1991 en France. Nombre d'acteurs que nous avons rencontrés commençaient systématiquement leurs commentaires en évoquant cette loi. Elle semble représenter une colonne vertébrale vitale, auquel tout le monde peut se raccrocher et qui définit dans les grands traits la raison d'être et la raison d'agir de chacun. Ainsi, marquer les étapes clefs de la gestion dans la loi sur les quelques dizaines d'années à venir nous semble essentiel car cela permet à chacun de justifier sa position et de se rattacher au processus politique, seule voie crédible de gestion des déchets. Certains pensent qu'acter trop précisément les jalons dans la loi n'est pas souhaitable car cela fixe trop de rigidité dans le processus. Au contraire, cela n'enlève aucune flexibilité à l'ensemble. Ce que la loi fait, la loi peut toujours le défaire. Il ne faut pas oublier que la gestion des déchets sera toujours contrainte par les événements extérieurs (explosion d'une nouvelle centrale, arrêt du retraitement, développement fulgurant du nucléaire...) La flexibilité doit donc être au cœur du processus. Les étapes sont ainsi cruciales par leur présence et non par leur contenu qui doit pouvoir être changé selon les événements. Elles définissent un cadre dans la gestion, peu importe si le tableau est flou ou se brouille entre deux jalons.

D'autre part, la clarté des responsabilités doit aussi être au cœur de la gestion. Toute imprécision dans cette définition entraîne amalgames et suspicions. Une lutte farouche oppose le ministère de l'environnement et le ministère de l'économie et du travail en Allemagne sur

la question des déchets. Chacun cherche à se saisir des compétences de l'autre. Le résultat de cette opposition est un sérieux blocage. Une définition claire des pouvoirs, des recours et des critères de choix pour chaque acteur est donc souhaitable. Cela écarte les luttes interminables de forme et donne à l'organisation de la gestion une transparence souhaitable.

La clarté des étapes et des responsabilités est donc essentiel pour une gouvernance sérieuse des déchets. Elle crée une référence continue et rassurante au processus politique. Elle ne rigidifie pas forcément le processus mais lui impose un cadre d'évolution. Elle impose une transparence essentielle à la délicate question des déchets nucléaires.

## **2. Un levier pour la communauté**

Quand l'intérêt national se heurte aux intérêts locaux, la raison du plus fort semble toujours la meilleure. Cependant, le passé récent des déchets nucléaires nous apprend que le plus faible peut facilement faire flancher le premier en provoquant la guerre civile sur ses terres. Le droit souverain de la nation trouve fort à faire face au pouvoir saboteur de la région. Nous pensons que le seul moyen d'établir une relation de confiance saine avec les acteurs locaux est de leur donner un levier d'action sur la décision du stockage. Le crédit donné aux instances nationales de régulation et de mise en œuvre du stockage en Finlande vient en grande partie du droit de veto accordé au conseil municipal d'Eurajoki.

Ce levier de décision doit passer par le pouvoir politique, un conseil général par exemple, et non par voie de référendum (au demeurant inconstitutionnel en France au niveau local). Les élus représentent leur territoire et sont garants de son avenir. Ce sont les seuls à même de juger l'ensemble du projet, de peser ses avantages et désagréments pour la région. Avec une démarche adéquate, ils peuvent être très bien informés sur les tenants et les aboutissants du projet. Cet objectif semble délicat pour l'ensemble d'une communauté (voir ce qui se passe autour de Bure). On peut imaginer des solutions un peu édulcorées comme à Eurajoki. Les électeurs de la commune connaissaient le point de vue de tous les candidats sur le stockage avant de voter grâce à un système informatique. Si ce thème était important au plus haut point pour le votant, il pouvait écarter le candidat de sa liste.

Donner un pouvoir aux élus locaux est avant tout un moyen d'établir une équité dans la décision et une confiance dans le processus. C'est l'avenir d'une région qui est en jeu et non pas les intérêts particuliers d'une génération actuelle. Il appartient donc au pouvoir politique local de peser sur son destin.

## **3. L'information**

Le consensus est large sur la nécessité d'informer de manière importante la communauté locale sur les recherches en cours et sur le déroulement de la démarche. Les modalités de cet échange sont très souvent critiquées pour leur manque d'efficacité, leur manque de transparence ou leur défaut de représentativité. Nous nous bornerons à évoquer quelques points intéressants.

Les structures de concertation reproduisent souvent à l'échelon local l'organisation nationale classique. Ainsi, le CLIS de Bure est présidé par le préfet du département et on y retrouve tous les échelons de représentation syndicaux. Il n'est pas sûr que ce mode d'organisation soit très bien adapté à un débat sur un laboratoire géologique. De plus, le cadre d'une telle structure doit avoir la neutralité comme caractéristique principale. Lorsque nous avons visité le CLIS, la position tenue par rapport à l'ANDRA était loin de cet idéal.

D'autre part, des modes d'information non formels peuvent être redoutablement efficaces. Ainsi, à Eurajoki, les deux cents employés de la centrale nucléaire ont constitué le



meilleur vecteur de discussion sur le projet de stockage. Ils furent de précieux relais pour les promoteurs du projet dans la mesure où ils dédramatisèrent le milieu du nucléaire, expliquèrent ce qui se passait dans la centrale, le sérieux de la démarche, la forme des déchets...

Enfin, il faut bien définir dans une instance d'échange quel niveau d'implication on donne aux participants. Quatre échelons peuvent être retenus :

- Informer : mettre au courant d'un certain nombre de faits ou d'intentions
- Consulter : informer et recueillir l'avis de tout ou partie de la communauté
- Concerter : travailler sur des thèmes précis entre promoteurs du projet et communauté d'accueil
- Faire participer : donner un pouvoir de décision à tous les interlocuteurs

Sur des sujets très techniques, il est difficile d'aller au-delà de la consultation. La concertation sans compétence ne donne pas grand-chose. Par contre, sur des impacts environnementaux ou économiques, l'implication de la communauté peut être très grande. Il faut donc bien définir sur chaque thème le niveau d'implication pertinent et éviter le mélange des genres qui n'apporte que des frustrations.

L'information est donc un socle essentiel pour instaurer la confiance. Elle nécessite un peu d'imagination pour sortir des voies classiques de concertation et beaucoup de neutralité pour atteindre une objectivité primordiale.

#### **4. L'accompagnement régional**

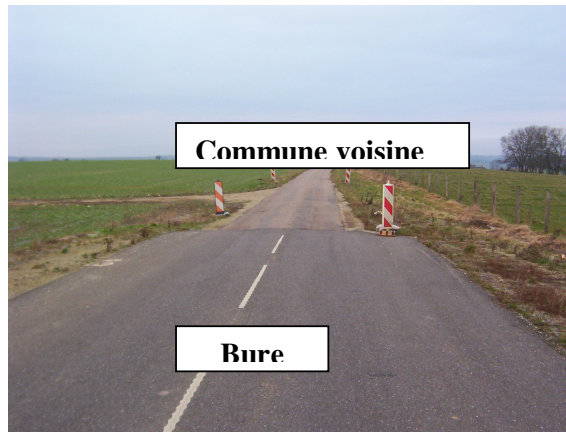
Nous avons écrit auparavant qu'aucune communauté n'a intérêt à recevoir un stockage géologique sans contrepartie. Il faut donc trouver des moyens de compenser les désagréments de la décision et l'iniquité de la charge des déchets.

Le point de départ de cette démarche est de définir et quantifier les effets négatifs potentiels de la présence du stockage (prix des terrains, image). Une participation forte de la communauté peut être envisagée dans cette étape. Il faudra alors trouver les moyens de neutraliser ces effets. La piste qui nous semble la plus prometteuse est celle de créer un pôle de développement économique autour du site de stockage. Nous nous heurtons ici à plusieurs obstacles majeurs.

Tout d'abord les lieux choisis pour recevoir les déchets radioactifs sont souvent très peu peuplés. Le département de la Meuse perd mille habitants par an. L'industrie présente dans ces régions est quasi inexistante. On est donc confronté à un paradoxe : c'est extrêmement difficile de bâtir une industrie ex-nihilo et pourtant les régions où on veut le faire sont quasi-désertes.

D'autre part, il faudrait pouvoir définir une zone pertinente pour faire du développement économique. La ville d'Eurajoki s'étend sur 342 km<sup>2</sup> et regroupe 6000 habitants. Bure n'est peuplée que de 80 âmes et le département apparaît trop vaste. La France n'a pas d'échelon administratif réellement adapté à un développement économique très localisé. Une zone de proximité (quelques km autour du site) a été définie par les GIP de Meuse et de Haute-Marne pour dépenser 20 % des subventions accordées par l'Etat. Cette piste peut être très prometteuse.

L'argent distribué dans ces zones ne doit pas être perçu comme un achat des consciences. Ainsi, dépenser de l'argent pour refaire des routes et des bâtiments est sûrement important mais ne répond pas aux désagréments qui peuvent être induits par un stockage. Sur le moyen terme, cela n'apporte rien.



**Image de développement à Bure**

La piste la plus sérieuse pour trouver des acteurs de développement économique dans la région d'un stockage est sans conteste la filière du nucléaire. On aura sûrement beaucoup de mal à faire venir d'autres secteurs d'activités, même avec des subventions attractives. Eurajoki a vu venir 500 nouveaux emplois sur 60 ans avec l'EPR grâce à son stockage. L'Etat finlandais n'a pas donné le moindre centime pour l'acceptation locale. Les acteurs français du nucléaire sauront-ils trouver des arguments aussi convaincants autour d'un site de stockage sans s'appuyer comme aujourd'hui sur les subventions du contribuable français ?

## ***V. Le financement des charges futures***

En France, en Finlande et en Allemagne, bien que les processus engagés soient différents, une chose est sûre : la gestion des déchets coûtera de l'argent dans le futur. Ces charges futures font l'objet de vifs débats entre pro- et anti-nucléaires. Pour les seconds, la pseudo-compétitivité du nucléaire ne serait liée qu'à l'absence de prise en compte des frais de démantèlement et de gestion des déchets. La réponse des premiers est que ces charges sont parfaitement prises en compte, et qu'une fois actualisées, elles sont intégrées dans les comptes. Il est donc utile de présenter les enjeux du financement des charges futures liées aux déchets HAVL (nous excluons donc les charges de gestion des autres déchets et les charges liées au démantèlement).

### ***A. Les enjeux***

#### **1. Comment évaluer**

Le premier enjeu pour assurer le financement des charges futures est d'être capable de l'évaluer. Ce point, souvent négligé, est essentiel : bien que ce soit une banalité, il est essentiel de rappeler que si les charges ont été sous-évaluées, quelque soit le mode de financement, quelqu'un devra rajouter au pot dans le futur. Or, comme on l'a vu, dans le cas français où le mode de gestion futur n'est pas encore déterminé, les coûts peuvent varier énormément. Si il faut développer un parc d'ADS dédiés pour incinérer les actinides mineurs, ceci sera sûrement plus cher que le stockage géologique direct. En Finlande où la décision a été prise de recourir au stockage géologique, l'exercice est un peu plus simple mais il reste beaucoup d'inconnues.

L'évaluation des coûts futurs, donnée de base pour organiser le financement, n'est donc déjà pas aisée à déterminer.

## **2. Qui paie, comment assurer la disponibilité des fonds**

Une fois déterminé le coût de la gestion des déchets HAVL dans le futur, tout le monde s'accorde à dire que le pollueur doit être le payeur. Une somme doit donc être prélevée sur le prix du kWh payé par le consommateur pour financer ces charges.

Cependant, les dépenses sont très éloignées dans le temps : les combustibles UOX irradiés aujourd'hui ne seront pas retraités avant 8 ans et les déchets vitrifiés obtenus devront refroidir avant d'être placés dans le stockage géologique. Il faut par conséquent se demander comment garantir que les sommes versées par le consommateur pour la gestion des déchets seront effectivement disponibles lorsque les dépenses devront être engagées.

Les risques qui pèsent sur ces sommes sont les suivants :

- si les sommes sont versées au producteur, celui-ci peut soit choisir de les sanctuariser (en créant par exemple un portefeuille d'actifs dédiés) ou bien les utiliser pour financer ses projets. Si le producteur fait faillite, ces sommes peuvent donc être saisies par les créanciers et devenir indisponibles pour couvrir la gestion des déchets. Par ailleurs, si les actifs dédiés voient leur valeur se déprécier, ou si les projets dans lesquels les sommes ont été investies ne sont pas rentables, ceci peut là encore poser un problème de disponibilité des fonds au moment d'engager les dépenses.
- Si les sommes sont versées dans un fonds externe, celui-ci peut aussi réaliser de mauvaises opérations et voir la valeur du portefeuille diminuer.

Il est donc légitime de s'interroger sur le meilleur dispositif à mettre en place pour assurer la disponibilité des fonds. Encore une fois, ceci est à relier à l'échelle de temps très longue du cycle du combustible dans le nucléaire.

Cet étalement dans le temps des dépenses pose aussi la question du choix d'un taux d'actualisation. Il est possible de dissiper des heures sur le choix du bon taux d'actualisation. Toutefois, ces débats sont assez vains dans la mesure où il ne s'agit pas de faire des arbitrages intertemporels, mais simplement de déterminer combien le consommateur doit payer aujourd'hui pour couvrir une dépense X dans 60 ans. Le taux devrait donc représenter la rémunération d'un placement sans risques (OAT par exemple).

## ***B. Dispositifs en Allemagne et Finlande***

### **1. Fonds externe en Finlande**

L'évaluation du coût du stockage a été réalisée et est discutée chaque année par un groupe de travail sous l'égide du Ministère de l'Industrie qui réunit POSIVA, les producteurs et le STUK. Cette évaluation ne semble pas avoir posé de grandes difficultés : il est vrai que le mode de gestion étant déterminé, l'estimation est plus facile.

Pour assurer la disponibilité des fonds, le choix s'est porté sur la création d'un fonds externe administré par le Ministère de l'Industrie et du Commerce. Ce fonds sert de garantie : pendant les 25 premières années de vie de la centrale électrique, l'entreprise doit abonder le fonds jusqu'au montant total des charges de gestion des déchets (non actualisé). Puis, au fur et à mesure que l'entreprise remplit ses obligations, les sommes correspondantes lui sont rendues.

L'entreprise est par ailleurs autorisée à réemprunter, en échange de garanties, à hauteur de 75% les sommes placées dans le fonds au taux interbancaire Euribor + 0,15%. Ceci permet de ne pas dégrader excessivement la situation financière de l'entreprise.

Pendant les 25 premières années de constitution du fonds, les entreprises doivent présenter des garanties pour couvrir l'écart entre les actifs du fonds et la totalité des charges futures. Ainsi, tout au long de la vie des installations, la somme des garanties et des actifs du fonds couvre la totalité des charges futures. L'idée qui prévaut en Finlande est qu'il doit être possible à tout moment de financer la gestion des déchets et le démantèlement. C'est d'ailleurs la raison pour ne pas actualiser les sommes : si un producteur fait faillite aujourd'hui, il faut pouvoir payer la totalité des charges dès à présent.

## **2. Provisions en Allemagne**

En Allemagne, le financement du stockage géologique (voie de référence pour tous les types de déchets radioactifs) est assuré par la loi. Les producteurs doivent payer pour la planification, la recherche, la construction et l'exploitation du site. En revanche, toutes les recherches menées qui ne sont pas spécifiques à un site donné sont financées par le BMWA (Ministère Fédéral de l'Economie et du Travail). Les producteurs restent responsables des déchets jusqu'à leur transfert aux dépôts de regroupement de l'Etat Fédéral. Par ce transfert s'effectue le transfert de propriété des déchets vers l'Etat Fédéral.

Le système de financement repose sur des provisions. Le montant provisionné est déterminé par le producteur lui-même et est déductible. Par conséquent, ces provisions ont été essentiellement un outil d'optimisation fiscale, ce qui a mené à une tendance au sur-provisionnement.

La Commission Européenne a critiqué ce système au motif que les provisions pouvaient servir à financer d'autres dépenses que les charges de l'aval du cycle et qu'elles pouvaient être menacées par une faillite de l'entreprise. Le paquet nucléaire proposé par Mme De Palacio proposait donc de créer des fonds dédiés. Ceci n'a pas été accepté, car les exploitants s'y sont opposés. La convention de sortie du nucléaire signée en 2000 prévoyait en effet qu'il n'y aurait pas de changement législatif susceptible de dégrader davantage la situation financière des producteurs.

Les interlocuteurs que nous avons rencontrés nous ont indiqué avoir pleine confiance dans le système actuel dans la mesure où cela fonctionne pour les autres industries. Ils ont précisé que cela supposait bien sûr que le travail d'audit des comptes soit fait correctement. Concernant le risque de faillite ou la possibilité de financer d'autres dépenses, il faut par ailleurs noter que le fonds dédié n'apporte qu'une réponse partielle si l'entreprise est autorisée à réemprunter l'argent.

## ***C. Schizophrénie française***

En France, les producteurs de déchets doivent financer la gestion de ces déchets. Il n'y a pas de fonds externes, ni même d'obligations d'actifs dédiés : les entreprises ont simplement l'obligation d'intégrer dans leurs comptes des provisions pour charges futures (qui peuvent être actualisées). Ainsi, EDF passe des provisions pour chaque assemblage combustible placé dans un cœur, le total de ces provisions devant à la fin de la vie des centrales couvrir la totalité des charges de gestion des déchets. Ces provisions sont actualisées au taux de 3%.

Le rapport de la Cour des Comptes sur le financement des charges futures du nucléaire indique que les provisions portées dans les comptes d'EDF l'ont été avec le plus grand soin. Ainsi, les détracteurs qui prétendent que les coûts de gestion ne sont pas pris en compte se trompent. Aujourd'hui, la provision pour stockage profond représente 6,2 Milliards d'€ en valeur brute, et 3,4 Milliards d'€ en valeur actualisée. L'évaluation repose sur un chiffrage du

coût du stockage géologique réalisé par l'ANDRA en 1996 sur la base d'un scénario avec poursuite du retraitement.

Afin de financer l'ensemble des charges de l'aval du cycle (démantèlement et gestion des déchets), le contrat d'entreprise Etat-EDF pour la période 1997-2000 a institué un portefeuille d'actifs dédiés. Celui-ci a été réalisé à hauteur de 1,2 Milliard d'€. La constitution s'est poursuivie en 2001-2003 au rythme de 0,3 Md€ par an.

Il existe donc un portefeuille d'actifs dédiés, mais sa valeur de 2,3Md€ fin 2003 est à mettre en relation avec un total de provisions de 24,7 Md€ en valeur actualisée pour le démantèlement et la gestion des déchets. Ceci est pointé par la Cour des Comptes, qui s'interroge sur la pertinence du développement d'EDF à l'international, facilité par la capacité d'autofinancement générée par l'importance des provisions.

Cette interrogation nous paraît fondée, en revanche, la suggestion qui en est tirée par le rapport Birraux-Bataille d'aller vers un fonds externe nous surprend. En effet, l'Etat étant l'unique actionnaire d'EDF aujourd'hui, il a tous les leviers pour imposer ses préférences en terme d'utilisation de la capacité d'autofinancement gérée par les provisions.

Cette attitude nous semble parfois un peu schizophrène : c'est ne pas avoir confiance dans l'Etat lorsqu'il est actionnaire et placer tous ses espoirs dans l'Etat gestionnaire de fonds. Certes, l'Etat n'a pas un seul visage, et c'est tout à fait naturel de voir des logiques différentes selon les représentants auxquels on s'adresse. Il nous semble toutefois que jusqu'à l'ouverture du capital d'EDF, l'Etat dispose de tous les leviers sur l'entreprise pour adopter la stratégie de financement des charges futures qui lui convient le mieux.

Dans le panorama des solutions possibles, il faut évoquer le paiement d'une soultte d'EDF à l'ANDRA. Ceci n'est possible que si l'évaluation des coûts de la gestion des déchets peut être réalisée de manière fine et avec un risque d'erreur relativement faible. En effet, si par hasard, le montant de gestion se révèle supérieur aux estimations, payer l'addition supplémentaire ne fera pas très bonne presse pour le gouvernement. On imagine déjà les slogans « on privatise les profits et on nationalise les pertes ».

C'est pour cette raison d'aversion au risque très forte de l'Etat que selon nous, la responsabilité des déchets doit rester chez le producteur.

## ***D. Des clés pour un système efficace***

Il faudrait étudier bien plus en détail les différents exemples internationaux pour proposer un dispositif de financement optimal. Ce n'est pas l'objet de ce mémoire. On peut cependant tirer quelques recommandations au vu des cas finlandais, allemand et français.

Le premier point est qu'il est essentiel que l'évaluation des coûts futurs ne soit pas réalisée sans contrôle par les producteurs. En effet, il n'existe pas de marchés du déchet nucléaire, et un auditeur chargé de contrôler les comptes d'un producteur sera probablement bien mal en peine d'évaluer la pertinence du montant d'une provision. La solution d'un groupe de travail sous l'égide du gouvernement paraît plus adaptée. Le pilotage du groupe doit permettre d'éviter les rapports de force trop déséquilibrés entre les producteurs et le gestionnaire des déchets.

Le second point concerne la couverture des provisions par d'éventuels actifs dédiés. La mise en place de ces actifs dédiés par les entreprises relève d'une intention louable, mais comme le notait la Cour des Comptes en 1998, la simple inscription au bilan des entreprises de portefeuilles d'actifs dédiés ne suffit pas à garantir absolument la disponibilité des fonds le moment venu. Il faut pouvoir garantir que ces actifs seront insaisissables par les créanciers de l'entreprise. La solution du fonds externe (en place en Finlande) résout ce problème. Même si l'entreprise réemprunte les sommes placées dans le fonds, celles-ci sont garanties par des

actifs : en cas de faillite de l'entreprise, le fonds serait donc en mesure de récupérer les sommes prêtées.

Enfin, il importe de préciser ce que l'on fera s'il s'avère que les charges ont été sous-évaluées. En effet, quelqu'un devra payer : ce ne devrait être ni le consommateur de demain ni le contribuable, mais le consommateur d'aujourd'hui. Que l'on choisisse un système de fonds, de provisions ou même de soulte, le problème reste entier. Il nous semble que la responsabilité doit rester chez le producteur. La mise en place d'une marge de sécurité autour du montant de l'évaluation pourrait permettre de jouer le rôle d'assurance. Toutefois, il faut bien avoir conscience que quelque soit le dispositif, l'Etat restera le responsable de dernier rang. En cas de faillite de tout le système, c'est le contribuable qui finira par payer.

## **VI. Conclusion et recommandations**

Nous voici au terme de notre voyage dans le monde des déchets nucléaires. L'épilogue du « Seigneur des Anneaux » voit la mission de Frodon remplie : à l'ultime moment, alors que le Mal est sur le point d'étendre son pouvoir sur le monde entier, l'Anneau est détruit dans la lave du volcan. Pour ce qui est de la gestion des déchets nucléaires, 2005 n'a pas vu l'invention d'une méthode de gestion pouvant faire disparaître aujourd'hui et pour toujours les déchets. Alors, que retenir de l'étude du cas français, finlandais et allemand ?

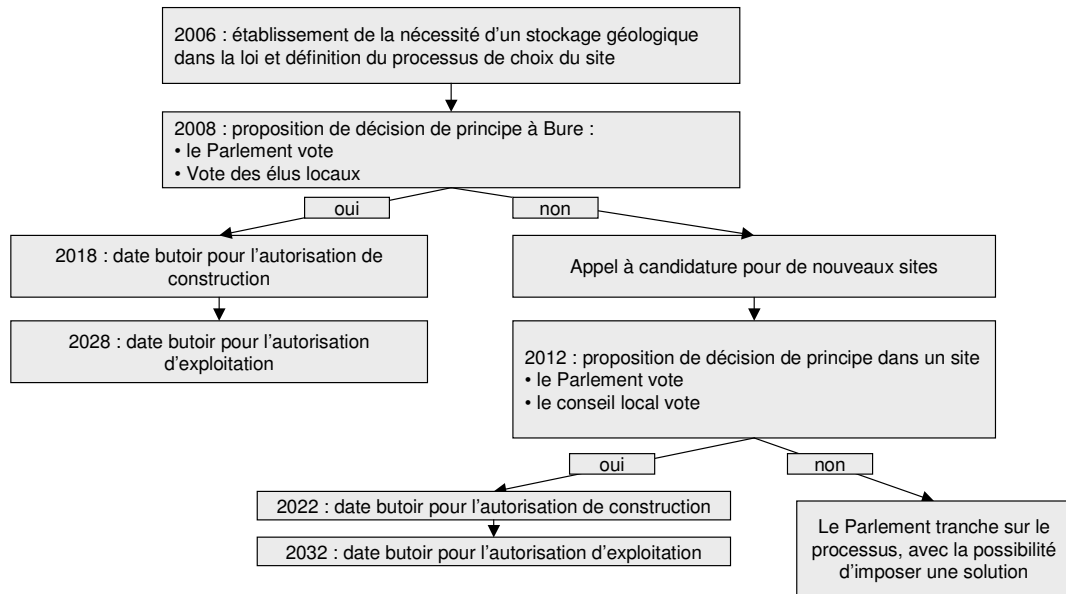
Le choix de l'Allemagne et de la Finlande d'aller résolument vers le stockage géologique a connu des fortunes diverses. En Finlande, le mode de décision adopté a permis de déboucher sur l'implantation d'un laboratoire qui, si la sûreté est vérifiée, deviendra un site de stockage. En Allemagne en revanche, le moratoire a gelé les recherches sur le site de Gorleben : la prochaine alternance politique est probablement le seul élément qui puisse relancer le processus.

En France, le dispositif de la loi de 1991 a permis d'impulser des recherches très importantes. A la veille de l'échéance de 2006, nous souhaitons, à titre personnel et très présomptueusement, exprimer quelques recommandations.

Il nous semble tout d'abord que la loi de 2006 devrait établir la nécessité d'un stockage géologique. L'entreposage n'étant pas une solution de long terme et la transmutation n'effaçant pas la nécessité d'un autre mode de gestion, le stockage géologique sera dans tous les cas nécessaire. Cette reconnaissance devrait s'accompagner d'une poursuite des recherches sur la transmutation, en particulier dans les réacteurs de génération IV.

Enfin, nous pensons que la procédure de choix de site pour le stockage géologique devrait être fixée dans la loi. en élaborant un calendrier précis. Les parties prenantes ont besoin d'une visibilité pour se raccrocher à un processus et justifier leur action. La loi, à l'image de la loi Bataille peut fixer ce cadre, tout en laissant des possibilités d'aménagements pour le futur.

Par ailleurs, la loi de 1991 prévoyait l'ouverture de plusieurs laboratoires. Un seul est en exploitation à Bure, il nous semble qu'il faudrait reconnaître cet écart majeur à la loi. Un processus qui permettrait de prendre en compte cette spécificité historique pourrait être le suivant :



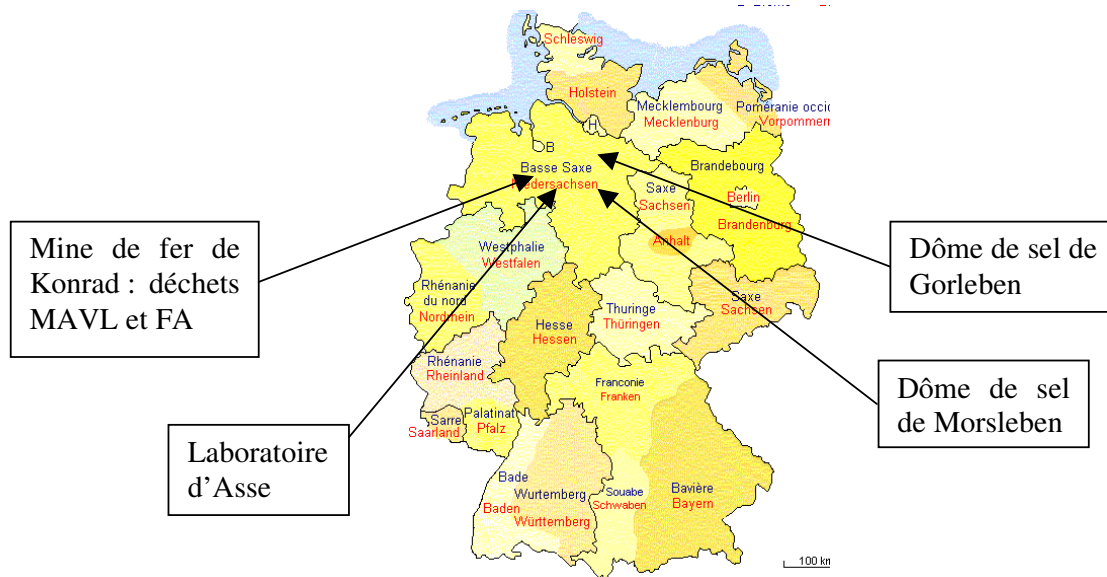
La question qui serait posée dans la région de Bure en 2008 serait la suivante :

« souhaitez-vous accueillir le stockage souterrain (si aucun élément ne met en péril la sûreté) et obtenir un plan de développement économique local majeur ou préférez-vous que soit construit un second laboratoire afin de réaliser une comparaison de ces sites en 2012 ? »

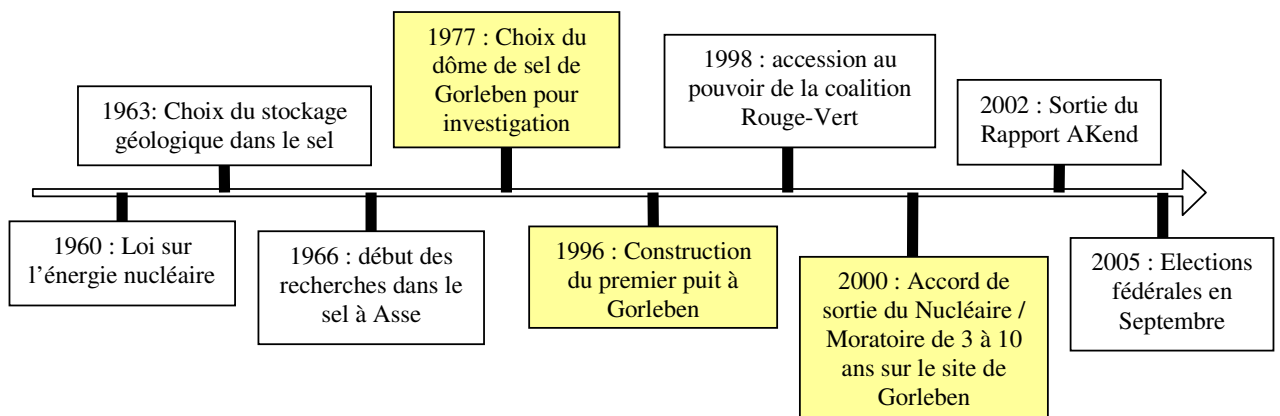
Quelque soit la décision qui sera prise en 2006, il faut souhaiter qu'une solution satisfaisante tant sur le plan technique que sur le plan social soit trouvée pour gérer les déchets nucléaires. Même si des révolutions techniques pourraient bouleverser notre gestion dans le futur, ces déchets existent et il est de notre responsabilité de rechercher une solution aujourd'hui. Nous naviguons à vue. Fixons un cap et laissons nous la possibilité de tourner la barre, si une nouvelle voie séduisante apparaît au large.

# Annexe 1 : monographie sur l'Allemagne

## A. Géographie des déchets

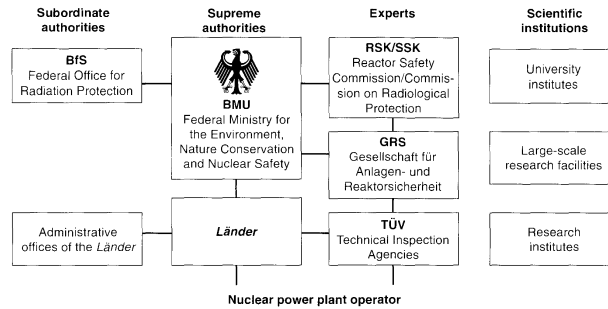


## B. Echelle historique





## C. Schéma des acteurs



Le système de gestion des déchets nucléaires en Allemagne est relativement complexe.

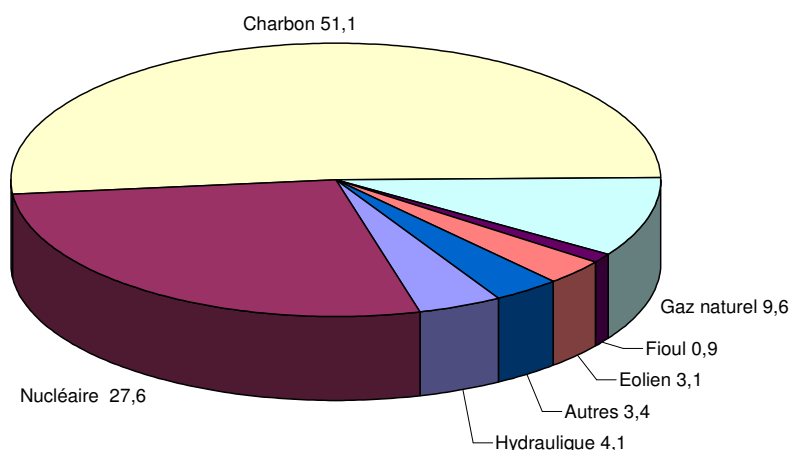
Deux ministères sont en charge du dossier dont les prérogatives ont été redéfinies en 1998 par le nouveau gouvernement :

- Le ministère chargé de l'environnement (BMU) :
  - o responsable de toutes les matières radioactives, des entreposages intérimaires et du stockage final.
  - o Il fait aussi office de régulateur comme tutelle de BFS
- Le ministère de l'économie et du travail (BMWA) :
  - o veille à ce que les mesures prises dans le cadre de la loi atomique soient raisonnables pour l'industrie nucléaire.
  - o Etudie l'économie de l'énergie nucléaire.
  - o Responsable des programmes de recherche fondamentale appliquée aux stockages de matières radioactives.
  - o Tutelle de l'office fédéral des sciences géologiques et des matières premières.
- L'office fédéral de radioprotection (BFS) :
  - o Maître d'œuvre pour la construction, les opérations et le démantèlement des sites fédéraux pour le stockage final de déchets radioactifs
  - o Contrôle les transports de combustibles et de sources radioactives intenses
  - o En charge de la gestion des déchets nucléaires d'origine publique
- Le GRS :
  - o Expert technique réalisant des travaux de recherche pour le compte du BMWA
  - o Expert technique définissant les critères de sûreté d'un stockage pour le compte du BMU
- Le DBE :
  - o Entreprise privée détenue par les électriciens
  - o Maître d'ouvrage pour les sites de Konrad, Gorleben et Morsleben
- Les Länder :
  - o Responsable de l'octroi de licence pour l'exploitation des sites de stockages finaux (par exemple, le Länder de Basse Saxe a donné une licence d'exploitation à la mine de Konrad pour accueillir les déchets « froids »

Le ministère de la recherche (BMBF) est par ailleurs chargé des recherches très fondamentales sur la gestion des déchets avec un léger programme de transmutation en diminution constante.

Les prérogatives de chacun semblent bien définies mais l'usage montre que de nombreux programmes de recherches font l'objet de querelles entre différents acteurs, en particulier entre le BMU et le BMWA. D'autre part, comme à la fois les Länder et l'état fédéral ont des pouvoirs, de nombreux conflits politiques ont jalonné la gestion des déchets dans le passé.

## ***D. Politique énergétique***



### **Mix énergétique Allemand en 2003 (pourcentage de la production totale)**

Le parc nucléaire Allemand comporte 18 tranches en fonctionnement (une tranche vient d'être arrêtée sur la centrale de Stade). Deux tiers de ces réacteurs sont à eau pressurisée, le tiers restant fonctionnant à eau bouillante. Conformément à la loi sur l'énergie nucléaire, tous les combustibles irradiés déchargés des centrales allemandes devaient être retraités afin de récupérer les matières valorisables. Depuis l'amendement de cette loi en 1994, il est possible de stocker directement des combustibles usés.

L'arrivée de la coalition Rouge-Vert au pouvoir en 1998 a changé la donne sur la place du nucléaire dans le mix énergétique allemand. Après deux années de négociations avec les entreprises électriques, un accord de sortie du nucléaire a été signé le 14 juin 2000 dont les termes principaux sont :

- Arrêt du retraitement de nouveaux combustibles usés à partir du 01 Juillet 2005
- Un montant maximal de production est alloué à chaque centrale avec transfert possible des quotas d'une centrale à une autre.
- Arrêt de l'exploration de la mine de Gorleben, moratoire de 3 à 10 ans sur les recherches le temps d'éclaircir des points litigieux.
- Création de stockages provisoires près des centrales pour l'entreposage des déchets

Il est peu probable que cet accord soit perturbé dans les années à venir car aucun courant politique n'a intérêt à le mettre en cause. La majorité des centrales pourra fonctionner jusqu'en 2020.

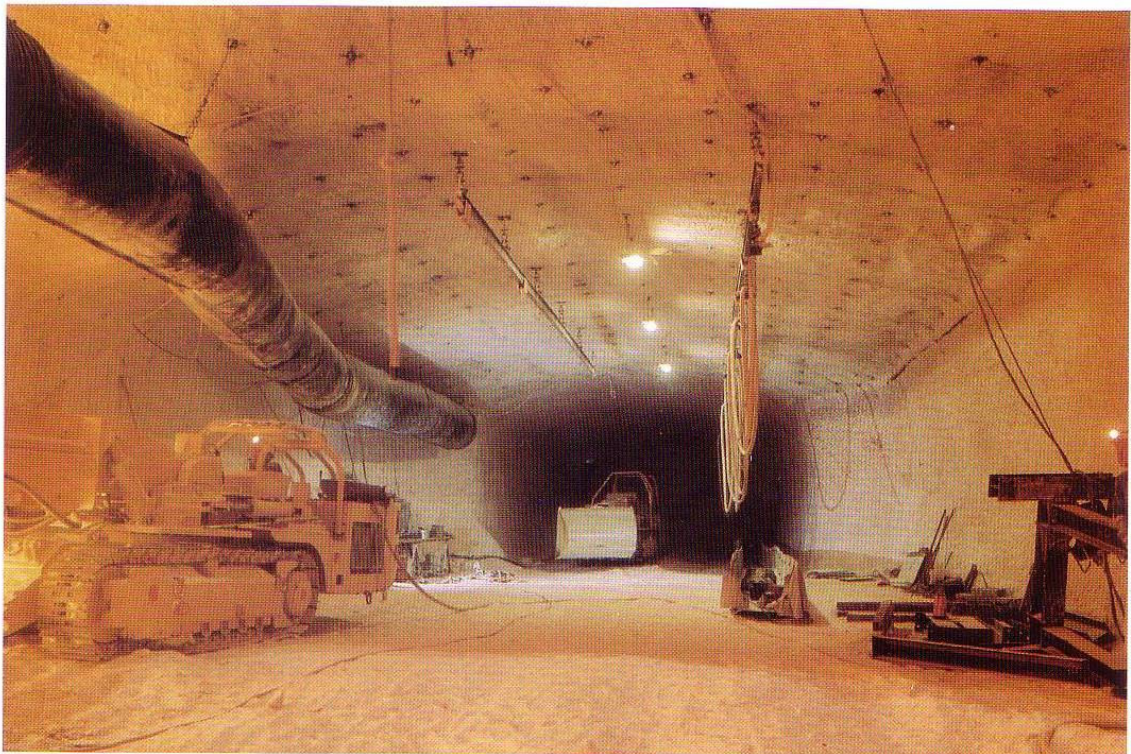
## ***E. Solutions envisagées***

La gestion des déchets radioactifs en Allemagne ne semble pas avoir connu de nombreuses hésitations sur les choix techniques. La solution de stockage géologique a été retenue pour tous les déchets (à l'exception des TFA) : combustibles usés ou verres, déchets MAVL et vie courte. Les choix techniques se sont portés sur l'utilisation ou l'abandon du retraitement comme nous l'avons expliqué ci-dessus.

Avant 1998, le schéma de gestion était simple : les déchets produisant de la chaleur étaient destinés à être stockés à Gorleben, les déchets « froids » devaient partir à Konrad. Les discussions sur la sortie du nucléaire ont ouvert une autre solution prônée par le ministère de l'environnement (BMU) : l'ouverture d'un site unique qui recevrait l'ensemble des déchets radioactifs. Le groupe de travail AKend avait pour objectif de trouver une procédure de choix d'un tel site.

La réversibilité n'est pas en Allemagne un sujet de discussion prépondérant. En effet, elle ne semble pas représenter une demande sociale majeure. Beaucoup pensent plutôt à enterrer le nucléaire une fois pour toutes et à l'enfermer à jamais sous terre. D'autre part, une impasse technique se profile dans l'application de ce concept. Une mine se sel de referme naturellement très vite et la couche s'homogénéise automatiquement. Maintenir des galeries ouvertes serait bien délicat et ne permettrait pas le scellement parfait du stockage nécessaire à une sûreté à long terme.

## ***F. Site de Gorleben***



**Mine de sel de Gorleben, percement des tunnels**

Le site de Gorleben se situe en Basse Saxe, à quelques encablures de l'ancienne frontière avec l'Allemagne de l'Est. Le dôme de sel est de taille considérable, environ 50 km<sup>2</sup>, sur une épaisseur de 3000 mètres entre -260m et -3400m. Il fut choisi en 1977 après une procédure de choix menée par le Landër de Basse Saxe dont les termes n'ont pas encore été rendus publics. Beaucoup d'observateurs estiment que ce choix tient tout autant sur des critères sociaux que sur des critères scientifiques. En effet, la région de Gorleben est quasi-désertique en industries, et les créations d'emploi sont très rares. Les ressources principales restent l'agriculture et le tourisme depuis quelques années. Ainsi, un certain nombre d'habitants des villages de la région n'y habitent pas la semaine et travaillent dans les agglomérations de Berlin, d'Hanovre ou d'Hambourg.

Le projet initial était un projet colossal. Il comportait un site de stockage, une centrale nucléaire, une usine de retraitement, un site d'entreposage et une usine de conteneurisation. Finalement, seule une usine « pilote » de conteneurisation et un entreposage ont été réalisés en plus de la mine exploratoire dans le dôme de sel.

La région reçoit un écho médiatique très fort tous les ans au moment de l'arrivée des emballages CASTOR (contenant les déchets vitrifiés à la Hague ou à Sellafield). Ils attirent une foule considérable d'opposants au nucléaire avec leur pendant du côté des forces de l'ordre. Ces manifestations ont été parfois très violentes.

L'état fédéral Allemand verse une indemnité de compensation aux villages à proximité du site. Le montant annuel représente environ 900 000€. Un certain nombre de village a refusé de recevoir ces deniers par opposition au projet de stockage.

Aucune cellule d'information ou de concertation n'a été créée autour du site à la manière des CLIS en France. Selon les deux bords (opposants et DBE), des tentatives ont existé mais n'ont jamais abouti. Chacun rejette sur l'autre camp l'impossibilité du dialogue.

## ***G. Rapport AKend***

Le ministre de l'environnement, Mr Tritin, dont la base électorale se situe en Basse Saxe, a décidé de poser un moratoire sur les recherches dans le dôme de sel de Gorleben en 2000. Il prenait ainsi le parti des opposants qui considéraient que ce site n'avait pas été choisi de manière transparente et qu'il fallait donc changer le processus de décision. Il décida de réunir un certain nombre de personnes autour de la table pour repartir de zéro et redéfinir une procédure pour le choix d'un site. Le groupe ainsi formé, baptisé AKend, comprenait des géologues, des sociologues, des pro et des anti nucléaires.

En 2002 ce groupe a publié son rapport final dont les conclusions sont les suivantes :

- Reprise du processus du choix du site à zéro
- La sûreté du site est le premier critère de choix
- On part d'une carte blanche de l'Allemagne et on regarde les sites potentiellement sûrs dans le sel mais aussi dans le granite et l'argile
- La sélection des sites se fera sur une base de critères définis à l'avance
- Au moins deux sites devront être sélectionnés
- Plusieurs étapes sont proposées avec une consultation des populations locales à la majorité d'entre elles (droit de veto)
- La décision finale entre les sites candidats sera prise au parlement
- La nécessité d'une politique de développement économique régional est fortement soulignée
- On ne donne aucun statut particulier aux sites de recherche déjà existants
- La priorité est donnée à un seul site pour tous les déchets (HAVL, MAVL, FA)

- La réversibilité n'est pas prise en compte dans le choix du site car elle pourrait masquer le choix le plus sûr à long terme

Les recommandations de ce groupe de travail n'ont été suivies d'aucun effet et aucune nouvelle procédure de choix de site n'a été mise en place par le ministère de l'environnement.

## **Annexe 2 : monographie sur la Finlande (mission du 11 au 15 avril 2005)**

### **A. L'énergie nucléaire en Finlande**



La Finlande compte 4 réacteurs en fonctionnement :

- les 2 réacteurs de Loviisa (2\*488 MW) opérés par la société Fortum (compagnie publique dont le capital a été ouvert en 98 à hauteur de 40%)
- les 2 réacteurs de Olkiluoto (2\*840 MW) opérés par la société TVO (société à capital à 57% privé)

En outre, la société TVO exploitera le réacteur EPR construit actuellement sur le site d'Olkiluoto.

Il est intéressant de noter que le développement de l'énergie nucléaire a été essentiellement financé par les industriels électrointensifs, en particulier les chimistes et les producteurs de papier. Ainsi, une société comme TVO ne gagne pas d'argent : elle revend à prix coûtant l'électricité produite à ses actionnaires. Parmi ses actionnaires, on trouve le groupe Pohjolan Voima Oy (PVO), qui a financé 57% des réacteurs Olkiluoto 1 et 2 et finance 60% du réacteur EPR. PVO, qui est lui-même un producteur d'énergie, revend l'énergie produite à prix coûtant à ses actionnaire, dont le premier est UPM-Kymmene Corporation, un des groupes leaders dans le monde sur les produits issus de l'exploitation forestière.

## ***B. L'organisation du secteur***

En Finlande, c'est le Ministère du Commerce et de l'Industrie (KTM, ou MTI en anglais) qui supervise l'application des dispositions réglementaires pour la gestion des déchets. Il est notamment chargé d'administrer le fonds d'Etat ainsi que d'évaluer et de recevoir les garanties nucléaires requises des électriciens.

Le rôle d'autorité de sûreté est joué par le STUK (centre finlandais de radioprotection et de sûreté nucléaire). Organisme indépendant, le STUK rend compte de ses activités au Ministère des Affaires Sociales et de la Santé Publique, et au Ministère du Commerce et de l'Industrie.

La Finlande dispose également d'un institut de recherche, le VTT (centre de recherche technique), qui joue le rôle du CEA dans le domaine du nucléaire.

Pour gérer les déchets, les 2 exploitants nucléaires ont fondé POSIVA, une société en participation. POSIVA est chargée de la gestion des déchets radioactifs et en particulier du stockage géologique. Ses responsabilités couvrent :

- la recherche et la sélection de sites potentiels
- le programme de R&D relative au stockage
- les études de sûreté
- la construction, l'exploitation et la fermeture du stockage de combustible usé

## ***C. Histoire de la gestion des combustibles usés en Finlande***

Aujourd'hui, le stockage géologique est la norme pour la gestion des déchets radioactifs en Finlande : stockage géologique en sub-surface pour les déchets de faible ou moyenne activité ; stockage géologique en profondeur pour les combustibles irradiés de ses 4 réacteurs nucléaires en service ainsi que pour ceux de son réacteur de type EPR qui entrera en fonctionnement en 2009. Il est intéressant d'étudier comment la politique de gestion des combustibles s'est progressivement concentrée sur cette unique option du stockage géologique.

Dans les années 70, la seule alternative envisagée était le retraitement, mais la hausse des prix du retraitement la disqualifiait. La Finlande a donc fait jouer l'accord passé avec l'URSS qui prévoyait le retour des combustibles usés de Loviisa en URSS.

En 1983, le texte législatif fondateur de la politique finlandaise des déchets nucléaires et des combustibles usés, le « Nuclear Energy Act » a été adopté. Le gouvernement voulait grâce à ce texte éviter les ennuis auxquels faisait face la Suède. En effet, à la même époque, les compagnies suédoises étaient accusées de ne pas avoir de plans pour la gestion des déchets, ce qui a motivé la décision de sortie du nucléaire en Suède.

Le Nuclear Energy Act proposait deux alternatives pour la gestion des déchets :

- le transfert définitif à l'étranger
- la préparation d'un stockage géologique en Finlande.

Lorsque nous avons questionné nos interlocuteurs sur la moralité de la première solution, ils nous ont tous répondu qu'à l'époque, l'URSS était supposée très en avance sur le plan technique et entièrement apte à régler le problème.

Dans le cadre de la préparation d'un stockage géologique en Finlande, un calendrier extrêmement précis a été fixé :

- 1983 – 1985 : identification des sites
- 1987 – 1992 : caractérisation préliminaire des sites
- 1993 – 2000 : caractérisation détaillée des sites
- 2000 : sélection du site
- 2010 : construction
- 2020 : début des opérations

Il est à noter que jusqu'ici, le planning a été suivi de manière scrupuleuse par la Finlande, mis à part 2 ans de glissement pour l'étape de caractérisation du site d'Olkiluoto. Cette phase devrait finir en 2012 au lieu de 2010. Néanmoins, ce retard devrait être rattrapé durant la phase de construction, afin de débiter les opérations à la date prévue de 2020.

En 1995, le Parlement finlandais a souhaité se protéger contre la possibilité d'importations de déchets nucléaires en Finlande. Il a donc adopté un amendement qui interdisait l'import et aussi l'export de déchets nucléaires en Finlande. Ceci a mis fin au retour des combustibles usés vers la Russie et a consacré la solution du stockage géologique. Les deux exploitants nucléaires créèrent alors la société commune Posiva Oy, détenue à 60 % par TVO et à 40 % par Fortum, afin mettre en œuvre le stockage géologique des combustibles usés.

A partir de 1996, la solution de référence de gestion des combustibles usés a donc été le stockage géologique. Il semble que cela n'ait jamais été remis en cause par la suite. La démarche adoptée est donc diamétralement opposée à celle qui sous-tend la loi de 1991 en France.

## ***D. La sélection du site pour le stockage géologique***

### **1. le concept de Decision in Principle (DiP)**

La législation nucléaire en Finlande prévoit une DiP avant la construction de toute nouvelle installation nucléaire. **L'objectif de la DiP est de garantir l'accord politique avant les investissements.** Cela signifie que la compagnie qui désire construire une nouvelle installation doit en faire la demande au Ministère du Commerce et de l'Industrie. Celui-ci doit donner son accord et obtenir l'accord du Parlement. Le conseil municipal de la commune qui accueille l'installation dispose également d'un droit de veto. Si tout le monde est d'accord, la DiP est prise, au nom de l'intérêt supérieur de la société (overall good of society). Par la suite, la commune ne disposera plus d'aucun droit pour arrêter la construction ou l'exploitation de l'installation.

Une objection évidente est qu'on ne peut évaluer la sûreté d'une installation tant qu'elle n'est pas terminée : ceci est pris en compte dans la loi finlandaise. Lors de la demande de DiP, le STUK réalise une évaluation préliminaire de la sûreté. Celle-ci doit assurer que, dans l'état d'avancement du projet, il n'existe pas d'obstacles rédhibitoires à la sûreté de l'installation. A la fin de la construction, la compagnie doit en revanche démontrer la sûreté de l'installation pour obtenir l'autorisation d'exploitation auprès du STUK. Le STUK garde autorité pendant toute la vie de l'installation pour l'arrêter si la sûreté n'est pas garantie.

La DiP est donc un instrument spécifique à l'industrie nucléaire qui permet de protéger les investisseurs (qui sont en partie privés) de possibles revirements de la commune ou du Parlement. Il s'agit d'un engagement de la société, mais c'est également une des clés de l'acceptabilité locale.



Le centre de stockage étant considéré comme une installation nucléaire, POSIVA devait présenter un dossier de demande de DiP pour son projet.

## **2. l'Environmental Impact Assessment (EIA)**

Avant la construction d'une nouvelle infrastructure (route, pont...), la législation finlandaise prévoit une évaluation de l'impact environnemental. Cette évaluation est menée par le constructeur et contrôlé par le Ministère de l'Environnement. Dans le cas des installations nucléaires, l'EIA doit être réalisée et ajoutée en annexe à la demande de DiP. En revanche, c'est le Ministère du Commerce et de l'Industrie qui le contrôle. Par conséquent, POSIVA devait réaliser une EIA avant de déposer sa demande de DiP pour un site de stockage géologique. L'EIA a donc été mené en 1997 et 1998 sur 4 sites : Eurajoki, Loviisa, Aankoski et Kuhmo

Le processus d'EIA prévoit de multiples études d'impact, environnementales, sociales, économiques. Un rapport préliminaire est présenté au Ministère du Commerce et de l'Industrie, avec des auditions publiques, puis de nouvelles études sont commandées, avec à nouveau un tour d'auditions pour aboutir au rapport final.

L'EIA est pour les Finlandais une des clés du succès du processus de choix d'un site : tout est fait pour permettre à toutes les parties prenantes de s'exprimer. Le rapport final, de 200 pages environ, présente une analyse de l'impact d'un stockage pour les 4 sites, en traitant des sujets aussi variés que les effets sur la santé des habitants, les effets sur l'agriculture, le tourisme, les effets sur la société locale... Le rapport présente également une analyse d'impact en cas de non-implémentation (zero-option), c'est-à-dire le cas où les combustibles restent en entreposage. Il s'agit d'un outil de discussion et d'information qui se veut très performant.

Pendant les 2 ans qu'a duré l'évaluation, 4 lettres ont été envoyées à chaque foyer dans les communes concernées pour leur fournir des informations et les inciter à participer. Des réunions publiques ont été également organisées dans chaque commune. Par ailleurs, une exposition itinérante a été présentée en 1998. Le bus passa 1 semaine près de chaque site, pour rencontrer les gens des villages et zones alentour. Au total, environ 1500 personnes visitèrent l'exposition.

L'EIA n'est cependant pas exempt de toute critique : ainsi, pour certains, le processus est tellement long et complexe qu'il sert uniquement à dissoudre les oppositions. Les arguments des détracteurs sont le taux de participation assez faible (ainsi, lors des auditions du Ministère, seul l'avis de 15 personnes locales a été recueilli) et la non-indépendance de l'EIA. Le processus était en effet piloté par POSIVA, conformément à la loi.

On peut être tenté de comparer l'EIA à un Débat Public. C'est cependant assez différent : au cours de l'EIA, le Ministère du Commerce et de l'Industrie peut demander des études plus poussées sur certains points (ce qui a eu lieu) afin d'éclairer davantage les parties prenantes. Il ne s'agit donc pas simplement d'exprimer tous les points de vue, l'EIA prétend donner une vision réaliste des impacts du projet. En cela, c'est très différent d'un Débat Public qui ne fait que collecter les opinions des participants.

Au cours de l'EIA, la récupérabilité (retrievabilité) est devenue un prérequis. Il s'agissait d'un problème important pour le parti Vert en particulier. Cette exigence n'a pas modifié le concept de stockage KBS-3 parce que les conteneurs de cuivre, dont la durée de vie est estimée à 100 000 ans, garantiront cette récupérabilité. En revanche, cela reste aujourd'hui un problème ouvert, puisque POSIVA doit expliquer comment il sera possible de les récupérer.

### **3. le choix du site d'Olkiluoto :**

L'EIA a été approuvé en 1998, puis, POSIVA a finalement retenu le site d'Olkiluoto pour présenter sa décision de principe.

En janvier 2000, le STUK a rendu une évaluation de sûreté favorable pour le site et la municipalité d'Eurajoki a voté en faveur du projet (avec 20 conseillers en faveur et 7 contre). La municipalité disposait d'un droit de veto.

Fin 2000, le Parlement s'est prononcé avec 159 en faveur et 3 contre la Décision de Principe. Ceci a déclenché la construction de ONKALO (Rock Characterisation Facility) à Olkiluoto, sur le même site que les 2 réacteurs de TVO.

### **4. les clés du succès finlandais**

Tout d'abord, il faut noter qu'au Parlement, même les Verts ont voté en faveur du projet. En effet, la question était décorrélée de la question plus générale du nucléaire en Finlande par le mécanisme suivant : la Décision de Principe qu'a soumise POSIVA concernait uniquement le stockage des combustibles usés produits jusqu'à la fin de leur vie par les réacteurs existants et l'EPR en construction

La position du conseil municipal d'Eurajoki peut paraître plus énigmatique. Les personnes interrogées nous ont cité plusieurs raisons :

- le nucléaire ne fait pas peur à Eurajoki car la population, dont une grande partie travaille pour TVO, sait que cela n'est pas dangereux
- les employés de TVO ont été des relais de communication efficace dans la commune
- TVO a proposé des arrangements financiers intéressants à la commune (ainsi, TVO a versé plusieurs années d'avance de loyers d'un bâtiment municipal et Eurajoki a financé avec cet argent la construction d'une maison de retraite)
- Le processus de choix du site pour l'EPR s'est déroulé en même temps que le choix du site de stockage. Un conseiller municipal d'Eurajoki nous a indiqué que le stockage avait été vu comme une force pour obtenir l'EPR

A nos yeux, il nous semble que la perspective d'accueillir l'EPR a joué un rôle déterminant dans le choix de la commune d'Eurajoki.

Enfin, un point essentiel en Finlande est que le processus avait été déterminé avant et fixé dans la loi : chacun connaissait les dates, les recours dont il disposait. Il n'y avait donc pas de surprises ou d'incertitudes. Ceci a permis aux Finlandais d'avancer par étapes et d'obtenir finalement une acceptabilité très large autour du stockage.

## **Annexe 3 : La radioactivité**

### **A. L'émission radioactive**

La matière est faite d'atomes. Les atomes sont formés d'un noyau et d'électrons qui gravitent autour de lui. Le noyau est lui-même composé de particules, des nucléons, qui se répartissent en deux espèces : les protons et les neutrons. Certains de ces noyaux sont instables : ils se transforment en émettant des radiations. On parle d'émission radioactive. Il existe différents types de radioactivité :

- le rayonnement alpha : un noyau atomique peut être instable parce qu'il est trop lourd. Il peut se débarrasser de son excédent de poids en émettant une particule  $\alpha$  (un noyau d'hélium comportant 2 protons et 2 neutrons). Le rayonnement alpha étant constitué d'une particule lourde chargée positivement, il est très peu pénétrant ; une simple feuille de papier peut l'arrêter.

- le rayonnement bêta : la radioactivité bêta ou émission bêta (symbole  $\beta$ ) est un type de désintégration radioactive dans laquelle une particule bêta (un électron ou un positron) est émise. On parle de désintégration bêta moins ( $\beta^-$ ) ou bêta plus ( $\beta^+$ ) selon que c'est un électron (particule chargée négativement) ou un positron (particule chargée positivement) qui est émis.

Il suffit d'une feuille d'aluminium ou d'une vitre en verre pour interrompre le parcours des électrons.

- le rayonnement gamma : lorsque un noyau comporte un excès d'énergie, il peut se désexciter en émettant un rayonnement électromagnétique de même nature que la lumière visible ou les rayons X, mais beaucoup plus énergétique. Ce rayonnement est moins ionisant que le rayonnement alpha ou bêta, mais beaucoup plus pénétrant. Plusieurs centimètres de plomb ou plusieurs décimètres de béton sont nécessaires pour les arrêter.

### **B. Les unités de mesure de la radioactivité**

Pour mesurer la radioactivité, on utilise une grandeur appelée activité. L'activité se mesure en Becquerel (Bq) et est égale au nombre de désintégrations par seconde. Il existe naturellement depuis la naissance de l'univers de la radioactivité. Par exemple, 1L d'eau de mer a une radioactivité naturelle de 13 Bq. Un homme de taille moyenne a quant à lui une activité moyenne de 10 000 Bq !

Certains éléments sont très radioactifs (milliards de milliards de becquerels), d'autres ont une faible activité (qui se mesure en milliers de becquerels).

Par ailleurs, la durée d'émission des rayonnements est très variable. Cette transformation s'effectue selon un rythme propre à chaque élément radioactif ; on appelle période radioactive le temps au bout duquel une quantité donnée de produit radioactifs perd spontanément la moitié de sa radioactivité.

Cette période peut aller d'une fraction de seconde pour le polonium 214 à 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238.

Les rayonnements peuvent atteindre l'organisme humaine de trois façons :

- par l'irradiation externe, c'est-à-dire l'exposition du corps à des sources qui lui sont extérieures
- par la contamination cutanée qui est la souillure de la peau par des substances radioactives

- par la contamination interne provenant de l'incorporation de substances radioactives aux tissus vivants. Cette contamination peut se faire par voie respiratoire, par voie digestive ou par voie transcutanée (diffusion par la peau).

Cependant, l'impact des rayonnements est très différent selon leur nature : il est donc faux de comparer la nocivité de deux matériaux en comparant simplement leur activité. Une grandeur appelée « dose absorbée » a donc été définie : elle permet de mesurer la quantité d'énergie transférée à la matière. Cette grandeur se mesure en Gray (Gy). 1 gray est égal à 1 joule par kilo de matière irradiée.

Toutefois, la dose absorbée ne rend pas complètement compte de l'impact du rayonnement sur l'organisme. Ainsi, si l'on considère un tissu donné, pour une même dose absorbée et la même énergie, les dégâts occasionnés pourront être dix fois supérieurs pour des neutrons rapides ou des « alpha » que pour des gamma. La nature des tissus irradiés intervient également : un tissu est d'autant plus radiosensible que ses cellules sont moins différenciées et qu'elles se renouvellent plus vite. Par exemple, les cellules de la couche basale de la peau ou celles des organes sanguiformateurs – la moelle rouge – sont parmi les plus fragiles.

Pour ces raisons, on a défini une unité d'irradiation qui tienne compte de l'ensemble de ces éléments et soit vraiment représentative de la nocivité du rayonnement. Comme les rayonnements ont des pouvoirs de pénétration qui varient avec la nature et l'énergie des particules, il est nécessaire de préciser où et à quelle profondeur la dose, exprimée en rad, est mesurée. Une irradiation de la totalité de l'organisme ou d'un seul organe ou encore une irradiation superficielle (contamination de la peau par des émetteurs alpha ou beta par exemple) auront des conséquences très différentes.

On définit donc un « équivalent de dose » ED :

$$ED \text{ (sievert)} = \text{Dose (gray)} * FQ * FD$$

Avec FQ = facteur de qualité

Et FD = facteur de distribution

Le facteur de qualité FQ est lié à la densité d'ionisation ou du transfert d'énergie par unité de longueur de trajet des particules.

Le facteur de distribution FD tient compte de la distribution non uniforme des radionucléides dans un tissu.

On retiendra donc que les effets biologiques des rayonnements sur un organisme exposé se mesurent en sievert et s'expriment en « équivalent de dose ». L'unité la plus courante est le millisievert, ou millième de sievert.

Il y a toujours eu des éléments radioactifs sur Terre. Depuis l'origine, tous les êtres vivants sont plongés dans une ambiance radioactive et incorporent dans leurs cellules des éléments radioactifs. Ainsi, dans le monde, l'équivalent de dose due à l'exposition naturelle est très variable (suivant les régions, l'altitude...), autour d'une moyenne de 2,4 mSv par an et par personne.

### ***C. Dose maximale autorisée***

Des doses élevées de rayonnement peuvent endommager et détruire de nombreuses cellules, ce qui cause des dommages graves ou même la mort pour un organisme. La gravité de ces effets augmente proportionnellement à la dose de rayonnement reçue. Il s'agit d'effets primaires ou déterministes parce qu'ils peuvent représenter un résultat direct de la radioexposition. Les effets déterministes chez les personnes peuvent comprendre les brûlures,

les cataractes, la stérilité et dans les cas extrêmes, la mort. Ces effets sont observés au-delà d'une dose absorbée de 0,5 Gray. Une première limite pour la radioprotection est donc fixée par ces effets.

Cependant, il est impossible pour des doses plus faibles d'observer immédiatement les effets du rayonnement. Dans ce cas, on ne peut établir un lien direct entre la dose de rayonnement et ses effets éventuels. En revanche, on peut mesurer une augmentation de la probabilité de certaines maladies, telles les cancers. Il s'agit d'effets tardifs ou stochastiques. Les effets stochastiques de faibles doses de rayonnement peuvent comprendre une incidence accrue du cancer chez les personnes exposées.

Ces risques stochastiques amènent à fixer une limite bien plus stricte pour la radioprotection. Ainsi, en France, pour le public, la réglementation européenne autorise une dose annuelle liée aux activités industrielles nucléaires de 1 millisievert (mSv). Cette dose maximale autorisée est de 20 mSv pour les personnes travaillant dans les installations nucléaires. A titre de comparaison, dans le cadre de l'irradiation médicale (radiothérapie, radiodiagnostic et médecine nucléaire), chaque personne reçoit en moyenne chaque année un équivalent de dose de 1mSv.

Enfin, on ne peut terminer ce paragraphe sans évoquer la controverse des faibles doses. Les scientifiques s'interrogent sur l'existence d'un seuil en-dessous duquel l'irradiation n'aurait pas d'effets. Aujourd'hui, le principe de précaution a amené à extrapoler la relation dose-effet obtenue pour les doses importantes vers les doses plus faibles de manière linéaire et sans effet de seuil. Ce point est contesté par exemple par l'Académie de Médecine, pour qui la relation dose-effet près de l'origine est inaccessible par l'expérience (l'effet est trop faible pour être mesuré). Ce débat n'est pas simplement une question de spécialistes : en effet, certains opposants se sont emparés du sujet pour exiger l'arrêt du nucléaire sous prétexte que les doses liées au parc nucléaire français étaient à l'origine de cancers. Il est encore tôt pour dire que la question est tranchée. Cependant, on peut retenir que la réglementation est certainement trop prudente.

## **Bibliographie**

### **Général :**

- Rapport sur l'état d'avancement et les perspectives des recherches sur la gestion des déchets radioactifs, Christian Bataille et Claude Birraux, 2005
- Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs, Cour des Comptes, 2005
- Dialogue entre citoyens sur la gestion à long terme du combustible irradié canadien, JC Bardy, Moncton 2004
- Dialogue entre citoyens sur la gestion à long terme du combustible irradié canadien, Cahier du participant, 2004
- The management of radioactive waste in the european union, opinions, situation and proposal for changes, Derek Taylor, 2005
- Europeans and radioactive waste, Opinions beliefs and concerns, S.Webster, D.Taylor, Tucson, 2003
- Nuclear safety in an enlarged european union, the european commission's "nuclear package", D.Taylor, 2003
- Agir dans un monde incertain, Callon, Lascoumes et Barthe, 2001
- Déchets radioactifs, R.Guillaumont, Techniques de l'ingénieur
- La réversibilité et ses limites, Colloque du 30 mars 2001, CLIS
- Rapport annuel 2003, Commission nationale du débat public
- Mission Impossible, retour sur la mission collégiale de concertation granite, Yannick Barthe, 2002
- Faut-il avoir peur des déchets radioactifs ?, ANDRA, 2004
- Y-a-t-il une éthique de la gestion des déchets radioactifs ?, ANDRA, 2005
- Tout sur l'énergie nucléaire, d'atome à Zirconium, B.Barré, 2003
- Communication and information in France's underground laboratory siting process : carity of procedure, ambivalence of effects, C.Mays, Y.Barthe, 2001
- Where does it go : siting methods and social representations of radioactive waste management in France, C.Mays, 2004
- Rapport d'activité 2003, ANDRA
- Stockage géologique profond : des éléments pour comprendre, ANDRA
- La gestion des déchets radioactifs civils à vie longue en France, Quelles stratégie pour quelle légitimité ?, J. Averous, X. Bravo, 1997
- Stratégie et programme des recherches sur la gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue, direction de la technologie, 2004
- Rapport d'évaluation N°10, Commission nationale d'évaluation, 2004
- La mise en politique des déchets nucléaires, l'action publique aux prises avec les irréversibilités techniques, thèse de Yannick Barthe, 2000
- La gestion des déchets radioactifs, le cas de la France et de quatre pays de l'OCDE, Chapelle et Strebelle, 1994
- Public opinion, public information and public involvement in radioactive waste management in the european union, D.Taylor & S.Webster, 2004
- Un cadre commun pour la sûreté nucléaire et la gestion des déchets dans l'UE, European Commission, 2004

- Les recherches pour la gestion des déchets nucléaires, les résultats d'aujourd'hui, les solutions de demain, CLEFS CEA 2002
- Responsibility, equity and credibility, ethical dilemmas relating to nuclear waste, Kommentus, 2001
- Les Français et les déchets nucléaires, Rapport au Ministre délégué à l'industrie, D'Iribarne, 2005

#### **Publications de l'AEN :**

- Image et rôle des autorités réglementaires dans la gestion des déchets radioactifs, AEN, 2003
- Stakeholder involvement techniques, AEN, 2004
- Informer, Consulter et impliquer le public dans la gestion des déchets radioactifs, AEN, 2003
- Integration Group for the safety case, AEN, 2003
- Addressing issues raised by stake holders : impacts on process, content and behaviour in waste organisations, AEN, 2004
- La réversibilité et la récupérabilité dans la gestion des déchets radioactifs, AEN, 2004
- Learning and Adapting to Societal Requirements for Radioactive Waste Management, AEN, 2004
- Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management, AEN, 2004
- Etablir et faire partager la confiance dans la sûreté des dépôts en grande profondeur, AEN, 2002
- Management of Uncertainty in Safety Cases and the Role of Risk, AEN, 2004
- Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories, AEN, 1999
- Stakeholder Confidence and Radioactive Waste Disposal, AEN, 2000

#### **Ouvrages et publications sur la Finlande**

- Stepwise decision making in Finland for the disposal of spent nuclear fuel, AEN, 2001
- Plan for safety case of spent fuel repository at Olkiluoto, Posiva, 2005
- Nuclear waste management of the Olkiluoto and Loviisa power plants, Posiva, 2003
- ONKALO, underground rock characterisation facility, technical data, Posiva Oy
- The final disposal facility for spent nuclear fuel, Environmental impact assessment report, Posiva Oy, 1999
- The Finnish state nuclear waste management fund, Ministry of trade and industry
- Into Olkiluoto Bedrock, Posiva
- Nuclear Energy in Finland, Ministry of Trade and Industry
- Research for regulatory support and national know-how in nuclear waste management, VTT, 2004
- Finnish report on the safety of spent fuel and radioactive waste management, STUK, 2003
- The decision in principle by the government concerning Posiva Oy's application for the construction of a final disposal facility for spent nuclear fuel produced in Finland, Ministry of trade and industry
- Nuclear solutions, the Finnish experience, Nuclear Industry Association
- Annual Report 2003, Posiva Oy, 2003
- A decision making process in radwaste management for confidence building : The French approach and the international context, Yvon Le Bars, Tucson 2002

### **Ouvrages et publications sur l'Allemagne**

- GRS, Annual Report 2002/2003
- Site Selection Procedure for Repository Sites, Recommendations of the AkEnd – Committee on a Site Selection Procedure for Repository Sites, 2002
- Final Waste Repository and Disposal Projects – Worldwide, Planning, Construction and Operation, DBE
- Disposal of radioactive waste : the forming of a new approach in Germany, AEN, 2005



## ***Personnes rencontrées***

### **Pilote du mémoire :**

Odile Gauthier            Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

### **Terrain :**

Cyrille Vincent            DGEMP  
Florence Fouquet        DGEMP  
Arnaud Locufier         DGEMP

### **Entretiens réalisés en France :**

Yannick Barthe            sociologue, Centre de sociologie de l'Innovation, ENSMP  
Claude Birraux            député, vice-président de l'OPECST  
Philippe Bodénez        DGSNR  
Philippe Bordarier       DGSNR  
Isabelle Brésard         CEA  
Alain Bucaille            AREVA  
Michel Callon            sociologue, Centre de sociologie de l'Innovation, ENSMP  
Claude Collin            CLIS de Bure  
Jean Coudry              CLIS de Bure  
Charles Courtois        CEA  
Michel Debes            EDF  
Robert Fernbach        CLIS de Bure  
Arnaud Grévoz            ANDRA  
François Jacq            ANDRA  
Benoît Jaquet            CLIS de Bure  
Philippe Knoche        AREVA  
André-Claude Lacoste   DGSNR  
Dominique Maillard     DGEMP  
Frédéric Marie         Ministère de la Recherche  
Frédéric Marillier      Greenpeace  
Yves Mansillon        CNDP  
Michel Maxant         EDF  
Claire Mays            Psycho-sociologue, Institut Symlog  
Claudio Pescatore      AEN  
Jack-Pierre Piguet      ANDRA  
Alain Régent            Haut-Commissariat à l'Énergie Atomique  
Hans Riotte             AEN  
Jacky Bonnemain      Association Robin des Bois  
Sylvie Voinis            AEN

### **Entretiens réalisés en Finlande :**

Laurent Bergeot        Mission Economique à Helsinki  
Anne Väättäinen        KTM (Ministère du Commerce et de l'Industrie)  
Esko Ruokola            STUK  
Juhani Vira             POSIVA  
Timo Seppälä            POSIVA  
Hanna Tuominem        Développement de la province de Rauma  
Harri Lammi            Greenpeace Nordic

Altti Lucander           conseiller municipal de la municipalité d'Eurajoki

**Entretiens réalisés en Allemagne :**

Detlef Appel	AkEnd
Wernt Brewitz	GRS
Peter Ward	DBE
Christian Islinger	DBE
Tilman Rothfuchs	GRS
Eckhardt Kruse	Pasteur de Gartow
Marianne Frisen	Comité des citoyens de Lüchow
Horst Schneider Travail)	affaires nucléaires, BMWA (Ministère Fédéral de l'Economie et du
Udo Jentzsch	Elu local de Lüchow