

## Elimination des déchets hautement radioactifs en Suisse

Travail de Maturité réalisé au [Lycée Jean-Piaget](#) de Neuchâtel  
sous la direction de Monsieur Jacques Ducommun

Marcel Zeller

### 1. Introduction

La gestion des déchets radioactifs est une question de grande importance. Ce problème doit être résolu pour que la protection de l'homme et de l'environnement soit garantie. Les déchets radioactifs sont produits lors de la fission de l'uranium dans les centrales nucléaires, mais également en médecine, dans la recherche et l'industrie. Les déchets radioactifs sont toxiques et nuisibles pour la santé de l'homme, et une séparation à long terme de la biosphère devient donc nécessaire. Environ 5000 tonnes de déchets radioactifs sont produits chaque année en Suisse. Une distinction est faite entre les déchets de faible et moyenne activité et les déchets hautement radioactifs. Lors de la désintégration des radionucléides, il se produit de la chaleur. Ces déchets nécessitant un refroidissement sont considérés comme hautement radioactifs.

Les déchets de faible et moyenne activité déjà prêts pour le stockage final sont entreposés dans des dépôts intermédiaires à Würenlingen et dans les centrales nucléaires. Les déchets provenant de la médecine sont entreposés à l'Institut de recherche Paul Scherrer, qui se trouve également à Würenlingen.

J'aimerais, en priorité, traiter le problème des déchets hautement radioactifs. A savoir : comment sont-ils produits ? Où sont-ils stockés actuellement et quelles sont les solutions finales envisagées ? J'ai choisi ce sujet parce que c'est un grand problème actuel de notre société. Ce sujet ne concerne pas seulement la physique, mais aussi la géologie, la protection de l'environnement et la politique. Et, personnellement, je suis très intéressé par ces domaines, car nous profitons de l'énergie nucléaire et nous n'avons pas encore de solution pour son élimination.



**Fig 1.** Centrale nucléaire de Gösgen

## **2. La radioactivité et l'effet du rayonnement ionisant sur l'homme**

La matière est composée d'atomes. Au milieu de chacun de ces atomes se trouve le noyau qui est 10'000 à 100'000 fois plus petit. La radioactivité est un phénomène qui se produit dans les noyaux des atomes. Ce phénomène difficile à observer fut découvert en 1896 avec un sel d'uranium. Certains noyaux sont instables et émettent des rayonnements : alpha ( $\alpha$ ), bêta ( $\beta$ ) et gamma ( $\gamma$ ), émis avec une grande énergie. Les rayonnements alpha ( $\alpha$ ) sont des noyaux d'hélium, les bêta ( $\beta$ ) des électrons ou des positrons et les gamma ( $\gamma$ ) des photons de grande énergie.

La radioactivité est un phénomène naturel avec lequel nous vivons sans le savoir. Elle est partout ; une grande partie émane du sol, des roches, mais également de l'air que l'on respire ou des aliments que l'on mange. Et il y a aussi un rayonnement cosmique.

Les rayons émis après une désintégration ionisent la matière qui les entoure, il s'agit d'un rayonnement ionisant. Dans les cellules vivantes, les rayons alpha, bêta et gamma ionisent des atomes ou des molécules. Ces molécules peuvent alors se scinder, et la structure chimique, le fonctionnement des cellules ou des organes, peuvent être perturbés. Des irradiations peuvent provoquer des lésions immédiates, mais aussi induire un cancer ou des altérations génétiques. Si le rayonnement est trop fort, l'homme peut mourir. Toutefois, les doses de radioactivité naturelle sont relativement faibles.

La radioactivité est utilisée dans un grand nombre de branches. On l'emploie en médecine, dans l'industrie, dans la recherche et dans la production d'énergie. Malheureusement, elle intervient aussi dans les bombes atomiques.

La radioactivité est souvent utilisée en médecine, par exemple lorsque des images sont réalisées avec une gamma-caméra. Mais ces rayonnements sont relativement faibles. Par contre, pour soigner des tumeurs cancéreuses, il faut des irradiations à fortes doses. En concentrant le rayonnement sur la tumeur, on évite d'irradier tout le corps. Avec ces rayonnements, on détruit la tumeur.

### *Industrie et science*

Dans l'industrie, on recourt à la radioactivité pour contrôler des matériaux ou des procédés de fabrication. L'avantage de ce contrôle est qu'on n'endommage pas le matériel. En voici quelques exemples: les contrôles de qualité dans la construction aéronautique et navale, les contrôles de câbles de téléphériques, la mesure de l'épaisseur de plaques d'acier. Elle est aussi utilisée pour détecter des drogues, de l'explosif ou pour identifier les dégâts d'eau dans les murs. Dans la recherche, la radioactivité est fréquemment utilisée, ainsi qu'en biologie, chimie et physique.

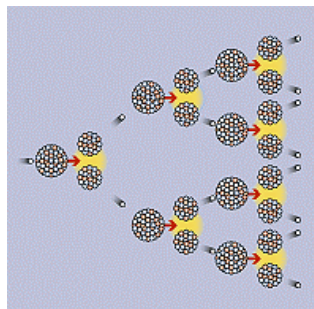
## **3. Energie nucléaire**

### 3.1 Introduction

L'énergie nucléaire est recommandée par les uns mais redoutée par les autres. Cette énergie a beaucoup d'avantages, comme par exemple : pas d'émission de CO<sub>2</sub>, pas de pollution de l'environnement et grande production d'énergie. Mais il y a aussi beaucoup de désavantages :

production de déchets radioactifs, une technologie risquée, possibilité d'accidents sévères (forte pollution de l'environnement, risque pour l'homme) et une technologie coûteuse. Quand les premières centrales nucléaires ont été construites, on n'a peut-être pas assez pensé aux grands problèmes futurs.

La fission d'un noyau et une réaction en chaîne auto-entretenu sont à la base de la production d'énergie nucléaire. Pour que la fission fonctionne, on a besoin d'un matériau très lourd ; l'uranium est le meilleur. Pour déclencher la fission, on projette des neutrons sur les noyaux de l'uranium, ceux-ci se fissionnent et de l'énergie est libérée. Quand un atome d'uranium a fissionné, il libère du matériel radioactif et des neutrons qui vont fissionner de nouveaux noyaux, déclenchant ainsi une réaction en chaîne auto-entretenu.



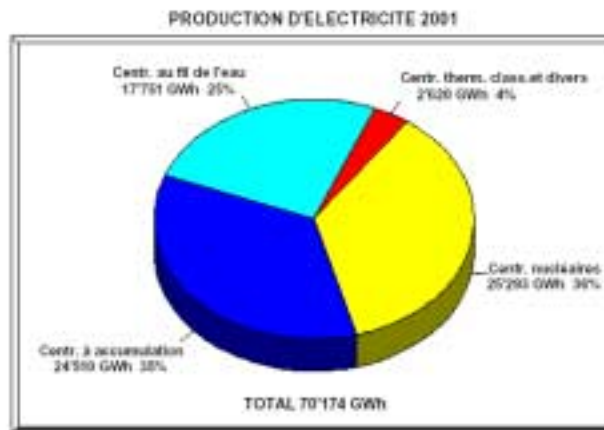
**Fig 2.** Schéma d'une réaction en chaîne auto entretenu

L'élément uranium existe dans la nature sous la forme de trois isotopes : l'uranium 238 (99,3 %), l'uranium 235 (0,7 %) et l'uranium 234 (traces). Seul l'uranium 235 peut être utilisé pour la fission nucléaire et pour produire de l'énergie. Le combustible utilisé dans les centrales nucléaires est enrichi à l'uranium 235. Un kilogramme d'uranium fissile (U-235) permet de produire dans un réacteur nucléaire environ 2 millions de fois plus d'énergie qu'un kilogramme de pétrole ou de charbon.

### 3.2 Energie nucléaire en Suisse

Au début, il n'y avait en Suisse que des centrales électriques au fil de l'eau, vu que le pays ne possède pas de charbon ou de pétrole. Après la deuxième guerre mondiale, l'essor conjoncturel du pays, donc son besoin d'électricité, a fortement augmenté. Mais l'aménagement des centrales au fil de l'eau avait ses limites à cause de l'espace, mais aussi de l'économie ; c'est pour cela que le Conseil fédéral, en 1960, a introduit l'énergie nucléaire. L'argument principal était des coûts de production bas, la garantie d'avoir de l'énergie et aussi la protection de l'environnement. Rien n'avait encore été envisagé pour les futurs déchets. En Suisse, le premier réacteur nucléaire commercial, "Beznau I" a été mis en service en 1969. Aujourd'hui, il y a 5 stations nucléaires en Suisse (Mühleberg, Gösgen, Leibstadt, Beznau I et II), produisant la majeure partie des déchets radioactifs. Les déchets hautement radioactifs sont très nocifs. Les centrales nucléaires produisent 36% de l'énergie électrique, ce qui correspond à 25'293 GWh par année.

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



**Fig :3.** Puissance des centrales et production d'électricité selon les sources

### 3.3 Le réacteur nucléaire

Le réacteur à l'eau sous pression est le plus utilisé dans le monde (voir fig. 4). Le combustible (uranium) est placé dans le cœur du réacteur et une réaction en chaîne auto entretenue est déclenchée. Les barres de contrôle qui absorbent les neutrons servent à contrôler cette réaction. Pour arrêter le réacteur, il suffit d'introduire entièrement les barres de contrôles dans l'uranium. De cette manière on peut régler la quantité d'énergie libérée. Avec la fission nucléaire on libère beaucoup d'énergie et celle-ci se transforme en chaleur. Dans le circuit primaire, de l'eau sous pression est chauffée avec cette chaleur. Dans le générateur de vapeur, la température de cette eau sous pression produit de la vapeur avec l'eau du circuit secondaire. La vapeur active la turbine et cette dernière fabrique de l'énergie électrique. Après avoir passé la turbine, la vapeur doit être refroidie dans le condenseur (rivière ou aérofrigérant) pour la retransformer en eau qui va à nouveau circuler vers le générateur de vapeur.

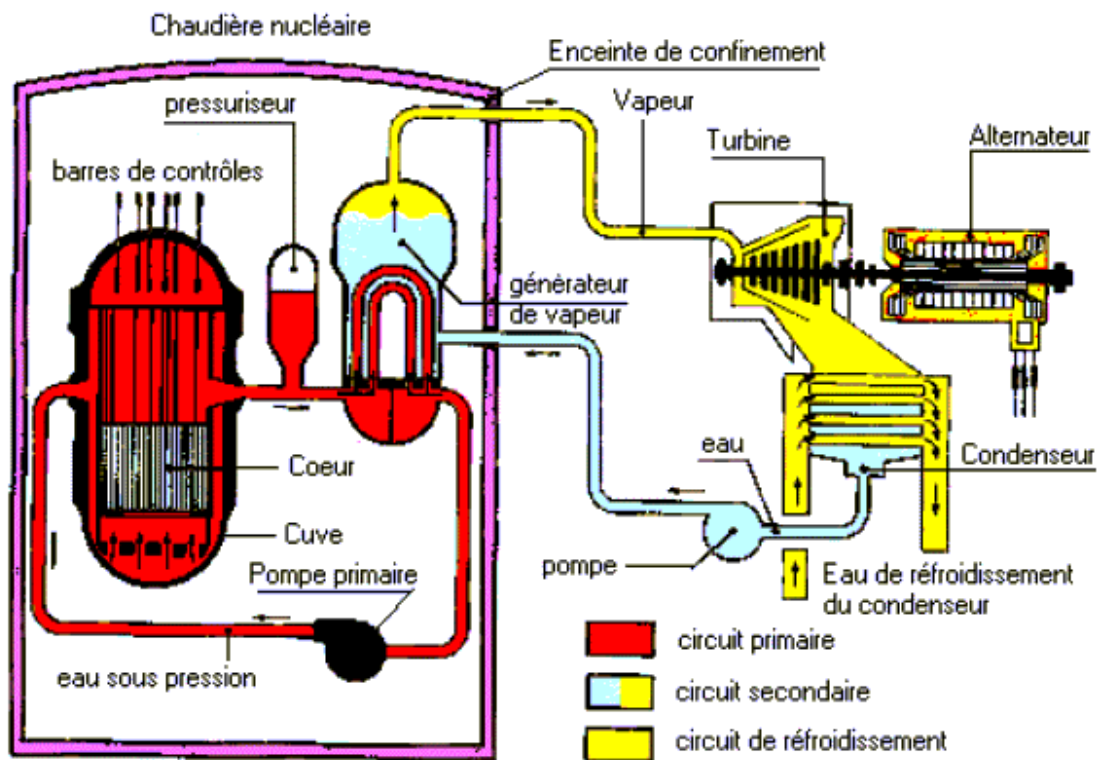


Fig 4. Réacteur à l'eau sous pression

## 4. Les déchets hautement radioactifs

### 4.1 Production

La majorité des déchets hautement radioactifs proviennent du cycle de combustible utilisé. Après une certaine période, le combustible ne contient plus suffisamment d'uranium 235 et doit être remplacé par du neuf. Le combustible utilisé est fortement radioactif et doit être mis sous enceinte blindée afin d'éviter une irradiation de l'homme et de l'environnement.

Dans le combustible neuf, il y a seulement 3% d'uranium fissile. Le combustible utilisé contient encore 1% d'uranium fissile. La matière recyclable est constituée de l'uranium 238, d'une petite fraction de l'uranium 235 et du plutonium. Les nucléides indiqués en vert sont des produits de fission, ils ne peuvent plus être réutilisés. Une partie de l'uranium 238 se transforme par « capture de neutrons » en plutonium et en actinides mineurs.

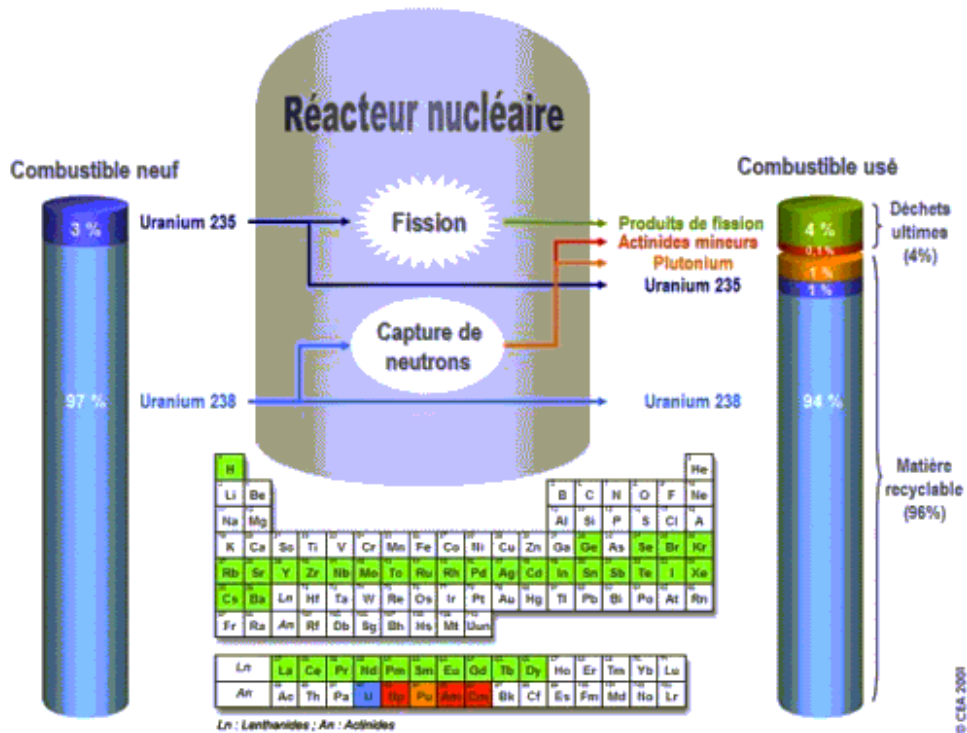


Fig 5. Combustible d'un réacteur nucléaire

#### 4.2 Conditionnement et entreposage en Suisse

Tout les déchets radioactifs sont entreposés dans des dépôts intermédiaires, car aucun dépôt final n'a encore été trouvé. La gestion des déchets hautement radioactifs passe par plusieurs étapes : conditionnement des déchets, stockage intermédiaire, élimination dans un dépôt final.

Les sociétés des centrales nucléaires sont directement responsables du conditionnement et du stockage intermédiaire des déchets radioactifs. Elles sont aussi liées par différents contrats de retraitement. Pour stocker les déchets, un dépôt intermédiaire sous le nom de « ZWILAG » Zwischenlager Würenlingen AG (Dépôt intermédiaire de Würenlingen SA) a été créé. Le ZWILAG est responsable du conditionnement et du stockage intermédiaire. L'Institut Paul Scherrer est responsable de ses propres déchets radioactifs ainsi que du conditionnement de tout les déchets radioactifs provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche. La NAGRA est responsable de la recherche d'un site pour l'élimination finale des déchets radioactifs.

Dans le stockage intermédiaire, il faut, entre autres, contrôler le dépôt des déchets en attendant que les dépôts finaux soient opérationnels. On doit passer par cette étape parce que les déchets de haute activité libèrent encore beaucoup de chaleur. Malheureusement, cette énergie ne peut pas être utilisée parce que trop coûteuse. Pour des raisons techniques, les déchets de haute activité doivent être stockés pendant 30 à 40 ans. Leur dégagement de chaleur diminue au cours du temps, jusqu'à ce qu'ils arrivent à une température qui soit assez basse pour le stockage final (environ 100°C). Donc un dépôt final n'est pas nécessaire avant 2020 parce que le ZWILAG est si grand que tous les déchets y trouveront encore de la place.

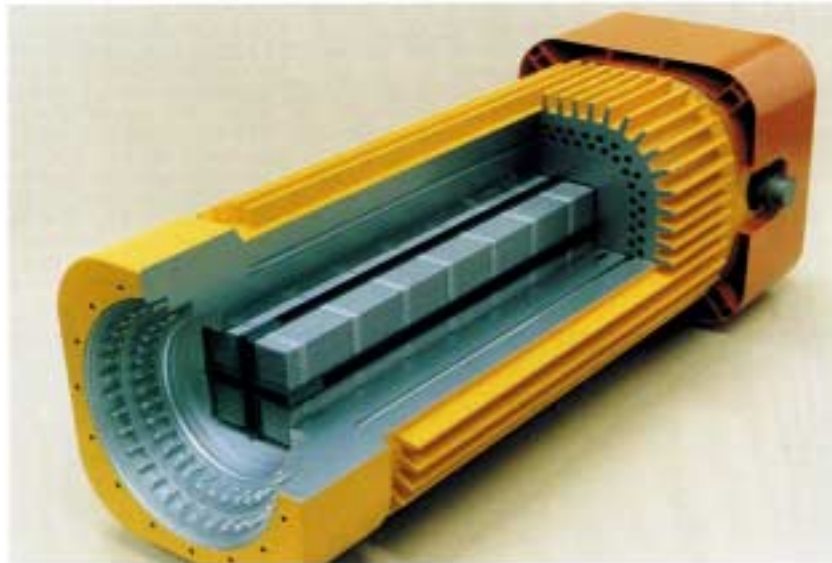


Fig 6. Conteneur conditionné pour des déchets de haute activité

#### 4.3 Retraitement ou élimination directe

On aimerait diminuer le volume des déchets hautement radioactifs. Pour cette raison, ces derniers sont retraités pour les réutiliser afin de diminuer leur volume. Mais le retraitement est cause de discussions et de controverses.

Une station de retraitement se trouve en Grande-Bretagne, à Sellafield, et l'autre est en France, à La Hague. Les exploitants ont signé des contrats avec ces deux sociétés de retraitement pour le volume que ces stations vont retraiter.

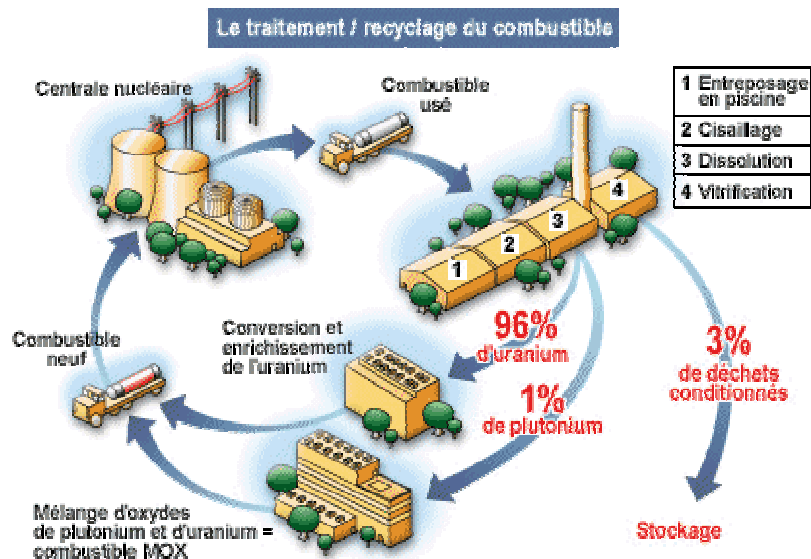


Fig 7. Recyclage du combustible selon un document de la société Cogema en France

Transportés à l'usine de La Hague, les crayons de combustibles usés sont cisailés, et dissous dans de l'acide nitrique. Le plutonium et l'uranium sont ensuite extraits de ce jus par des méthodes chimiques analogues à la séparation de l'huile et du vinaigre dans la vinaigrette. Ici, c'est le tributyl-phosphate (TBP) qui joue le rôle de l'huile et qui concentre l'uranium et le plutonium. L'uranium récupéré pourra à nouveau être enrichi et suivre une voie analogue à celle du combustible ordinaire. Quant au plutonium, il permet de fabriquer de nouveaux combustibles composés d'un mélange d'oxyde d'uranium et d'oxyde de plutonium, le "MOX" (de l'anglais "mixed oxides"), déjà utilisé dans un tiers des réacteurs à eau pressurisée (REP) français. Enfin, les produits de la fission sont des atomes radioactifs qui représentent les seuls vrais déchets ultimes de la combustion nucléaire. Ils sont vitrifiés et entreposés comme déchets radioactifs.

Dans une station de retraitement, on sépare le plutonium et l'uranium encore utilisable. Au départ, ces stations ont été construites pour des raisons militaires afin de créer des bombes atomiques à base de plutonium. Depuis une trentaine d'années on a commencé à retraiter le combustible usé pour en utiliser le plutonium. Dans le combustible usé il y a 4% de déchets ultimes, 1% de plutonium, 1% d'uranium 235 et 94% d'uranium 238. On sépare les déchets ultimes pour recycler le reste. Ainsi, on peut réduire le volume des déchets, afin qu'il ne reste que 3 à 5% du volume initial. Ces déchets sont hautement radioactifs. Avec la matière recyclée, de nouveaux éléments combustibles, appelés éléments combustibles à l'oxyde mixte (MOX), sont créés. Ceux-ci peuvent être à nouveau utilisés dans les centrales nucléaires.

Tous les pays ne se sont pas décidés à faire du retraitement ; par exemple, la Suède et les Etats-Unis y ont renoncé. Dans ce cas, les combustibles usés sont considérés comme des déchets et sont directement stockés après leur retrait du réacteur. Les pays ayant choisi d'avoir une usine de retraitement sont la France, la Grande-Bretagne, la Russie et le Japon. Les pays comme l'Allemagne, la Suisse et la Belgique font retraiter dans d'autres pays.

Greenpeace pense que le retraitement n'est pas raisonnable parce que l'uranium n'est pas cher à acheter et qu'il y a encore assez d'uranium dans le monde. Les processus de retraitement sont très complexes et dangereux. Les stations de retraitement polluent l'environnement et les déchets dangereux parcourent des distances fort longues pour y arriver. Greenpeace dit qu'il vaut mieux utiliser de l'uranium nouveau à chaque fois que de retraiter l'uranium utilisé. Ces processus de retraitement mettent des quantités énormes de radioactivité dans l'environnement. Chaque jour, plusieurs millions de litres d'eau radioactive coulent dans la mer. Ces eaux d'égout contiennent aussi du plutonium. Ces diverses substances radioactives ne peuvent être séparées de l'eau. Un micro-gramme de ces substances, absorbé par un organisme, peut provoquer un cancer. De petites quantités en ont été trouvées sur toutes les côtes de la Grande-Bretagne et aussi en Islande ; en Norvège, on a découvert des traces de plutonium. Dans la population de Sellafield, la leucémie est dix fois plus élevée que la moyenne du pays. Quant aux enfants de La Hague, ils ont aussi un risque plus élevé de leucémie, d'après les sondages de Greenpeace.

Ce débat n'est pas encore terminé et a été mené dans le parlement suisse. Des contrats avec les stations de retraitement ont été conclus, alors qu'on pensait que le prix de l'uranium allait monter ; maintenant il faudrait les respecter.



## 5. Elimination des déchets hautement radioactifs

### 5.1 Aspects juridiques

Les bases légales actuelles dans le domaine nucléaire sont la loi sur l'énergie atomique de 1959, l'arrêté fédéral concernant la loi sur l'énergie atomique de 1978 et la loi du 22 mars 1992 sur la radioprotection. L'arrêté fédéral dit que le producteur de déchets radioactifs se charge de leur élimination dans des conditions de sécurité et en payant les frais correspondant. La Confédération a le droit de faire éliminer les déchets radioactifs aux frais du producteur. Dans les années 90, plusieurs forums de discussion ont été organisés dans le domaine de l'énergie. Quelques progrès significatifs ont été faits dans la collaboration en matière de politique énergétique. Par contre, on n'a pas pu promulguer de lois précises sur l'exploitation de l'énergie nucléaire. Le moratoire sur l'énergie nucléaire inscrit dans la Constitution fédérale a expiré en septembre 2000. Depuis septembre 1999, deux nouvelles initiatives populaires ont été déposées : Moratoire-plus et Sortir du nucléaire. Dans son projet de loi sur l'énergie nucléaire, le Conseil fédéral maintient l'option nucléaire et renonce à limiter la durée d'exploitation des centrales. En revanche, il prévoit d'interdire le retraitement des combustibles usés. Le projet contient des dispositions sur l'élimination des déchets nucléaires et son financement. Il introduit également le référendum facultatif pour la construction de nouvelles centrales.

La nouvelle loi sur l'énergie nucléaire remplacera bientôt la loi atomique. Jusqu'ici, les dispositions légales étaient très générales. De nouvelles dispositions fixeront plus concrètement les devoirs des producteurs. De plus, le concept de dépôt souterrain en profondeur sera repris.

Toute construction d'un dépôt et même la recherche préalable requiert aujourd'hui des autorisations de la Confédération, du canton ainsi que de la commune concernée. Les projets proposés peuvent alors être repoussés pendant plusieurs années et même finalement bloqués, comme dans celui d'un dépôt des déchets faiblement et moyennement actif au Wellenberg dans le canton de Nidwald.

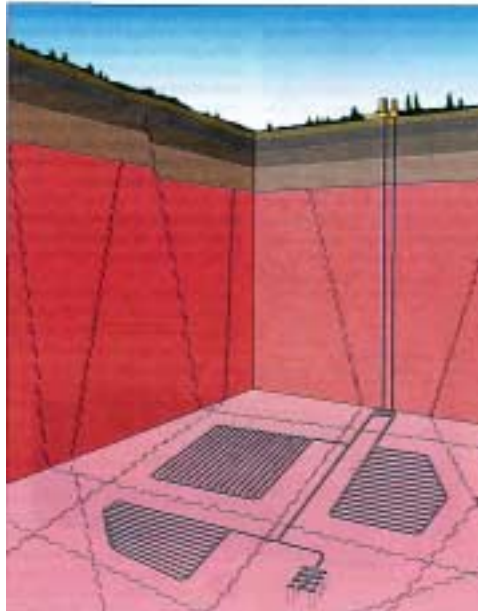
### 5.2. Elimination en Suisse

Les études à long terme sur des concepts de dépôt final pour des déchets de haute activité progressent. Les travaux de la phase II du programme de recherche DHA (déchets de haute activité) ont déjà commencé. Ils comprennent des études géologiques, géophysiques et hydrogéologiques de la vallée inférieure de l'Aar en Argovie (roche cristalline) et du Zürcher Weinland (argile à opalinus).

D'après les informations de la NAGRA, au terme de l'exploitation des centrales sur une durée de 40 ans, il y aura environ 3000 tonnes de déchets hautement radioactifs d'un volume de 500 mètres cubes, soit celui d'une petite maison. A cause de ce petit volume un dépôt international commun constituerait une option techniquement et économiquement intéressante.

La NAGRA est responsable de trouver un endroit pour un dépôt final des déchets hautement radioactifs. Le dépôt DHA final est un dépôt construit en profondeur. Les conteneurs de déchets seront emmagasinés dans des galeries horizontales qui seront ensuite remplies de bentonite fortement compactée. Dans le socle cristallin, le dépôt serait construit à environ 1000 mètres de profondeur. Une alternative serait la construction du dépôt dans une roche d'accueil sédimentaire (argile à opalinus). Pour des raisons techniques ce dépôt serait alors construit à une

profondeur de 800 mètres. En raison de l'activité dans les Alpes, les sites de cette zone sont à éviter. Sur le Plateau et dans les régions du nord de la Suisse, des sites plus favorables ont été localisés. Leur situation géologique est relativement complexe, mais on trouve quand même des sites qui correspondent aux exigences.



**Fig 8.** Schéma d'un dépôt final des déchets de haute activité

Depuis le début des années 80, la recherche d'un site en trois phases a été rendue publique. La phase I était l'investigation régionale (forage, sismique) ; ses résultats menèrent à la phase II où des investigations plus détaillées sur des régions plus petites ont été faites. La phase III consiste à creuser des puits d'accès et à analyser le sous-sol, ce qui permet la caractérisation complète d'un site. On est maintenant entre les phases II et III. On a trouvé deux sites possibles, celui du Zürcher Weinland et celui d'Argovie.

### 5.3. Elimination à l'étranger

Parallèlement à ces travaux de recherche d'un site pour les déchets de haute activité, la NAGRA poursuit aussi des options sur un dépôt final à l'étranger. Aujourd'hui la situation politique dans le monde n'est pas très favorable pour trouver des dépôts communs. Chaque pays devra régler ses problèmes de déchets soi-même et trouver un site sur son territoire national, comme la NAGRA le fait pour la Suisse. Mais si la situation s'améliore pour ce genre de problème, une solution internationale pourrait encore être trouvée.

Greenpeace annonce que pour diminuer les coûts de stockage final les représentants de l'industrie nucléaire suisse ont signé une déclaration d'intention en septembre 1998 avec le ministère russe de l'énergie atomique Minatom. Celle-ci prévoit que l'ensemble des déchets hautement radioactifs provenant des centrales nucléaires suisses soient amenés en Russie. La révélation de ce marché russo-suisse en janvier 1999 a déclenché un large débat public en Russie. Dans ce pays, la modification nécessaire du cadre légal se heurte à l'opposition du mouvement de

protection de l'environnement. Mais le Conseil fédéral a exigé que l'exportation des déchets radioactifs se fasse seulement si la protection de l'environnement est garantie ; toutefois il faudrait encore considérer les engagements qui pourraient en résulter sur le plan économique, ainsi que la situation politique à long terme. Une exportation des déchets hautement radioactifs en Russie est exclue dans les circonstances actuelles. Donc la NAGRA doit continuer à chercher un site en Suisse.

#### 5.4. Coûts et Financement

La préparation et la réalisation du stockage final des déchets radioactifs sont des tâches qui ont besoin de plusieurs dizaines d'années. A cause de ces longs espaces de temps les coûts sont très difficiles à estimer. Ces estimations peuvent être faites très globalement. On crée deux sortes de dépôts, l'un pour des déchets de faible et de moyenne activité (DFMA) et l'autre pour des déchets hautement radioactifs (DHA) et des déchets de moyenne activité à vie longue (DMAL). Actuellement, ces déchets sont stockés de façon intermédiaire dans les centrales nucléaires ou dans le dépôt de Würenlingen. La NAGRA est compétente dans la stratégie du stockage final et les travaux préparatoires ; elle doit estimer les coûts de l'élimination. Mais le financement de l'élimination doit être complètement payé par l'industrie des centrales nucléaires, qui possède un fonds pour l'élimination et un autre pour le démantèlement de ces centrales.

La NAGRA évalue à près de 13.7 milliards de francs le coût global de la gestion des déchets provenant des centrales nucléaires. Ce chiffre intègre les coûts du retraitement des éléments combustibles usés ou leur conditionnement en vue d'un stockage final, les coûts de transport, du traitement centralisé des déchets, du stockage intermédiaire, ainsi que les coûts de stockage final des déchets d'exploitation et de retraitement, et des éléments combustibles usés. Mais les coûts de démantèlement des centrales nucléaires ne sont pas inclus dans ces 13.7 milliards ; il peuvent se monter à 6 milliards. Le coût total du dépôt DHA / DMAL est estimé à environ 4.4 milliards de francs. Comme dit plus haut, on a aussi pensé à faire des projets multinationaux, ainsi les coûts pourraient être limités, mais le problème est de savoir qui prendra nos déchets.

La fin de l'exploitation du dépôt final DHA / DMAL est elle aussi déterminée par des facteurs techniques : c'est-à-dire la période de refroidissement de 40 ans prévue pour les déchets de haute activité. Alors les derniers déchets hautement radioactifs seraient livrés dans l'année 2064 (pour autant que les centrales nucléaires soient exploitées pendant 40 ans) Mais il est très probable que les autorisations d'exploitation des centrales soient prolongées, rendant difficile à estimer les coûts totaux.

L'influence du volume des déchets sur les coûts des deux dépôts est limitée, car la plus grande partie des frais pour la construction d'un dépôt final sont fixes. Les coûts fixes comprennent par exemple les dépenses pour les études préliminaires, les installations d'accueil sur les sites, les galeries et puits d'accès, ainsi qu'une partie des coûts d'exploitation.

## 6. Projets pour l'élimination en Suisse

Les premières études faites par la NAGRA sur l'aptitude des roches sédimentaires et des roches de type cristallin ont apporté les premières connaissances pour trouver un dépôt final des DHA. En 1985, un dépôt final implanté en roche cristalline (granit, gneiss) a été le premier modèle envisagé sous forme d'étude de faisabilité et de sécurité. Pendant les investigations

intensives (sismique et forage) entre 1983 et 1989, il était alors possible de trouver des informations sur des roches sédimentaires. La NAGRA poursuit actuellement un programme de recherche dans deux laboratoires, l'un de granit (Grimsel) et l'autre d'argile (Mont Terri) afin de mieux étudier les potentialités et modalités du stockage géologique.

### 6.1 L'option dans le cristallin

En 1994, des requêtes relatives à des sondages pour l'exploration approfondie du cristallin dans le canton d'Argovie ont été déposées.

#### *Laboratoire du Grimsel*

Au Grimsel, un laboratoire de recherche étudie le granit, et la possibilité d'y créer des dépôts finaux de déchets radioactifs. Il analyse des propriétés physiques et chimiques comme, par exemple, la perméabilité. Les laboratoires de recherche souterrains sont un moyen de comprendre les propriétés hydrologiques, thermiques, mécaniques, chimiques et biologiques ainsi que les mécanismes couplés, qui détermineront le comportement des barrières naturelles d'un dépôt géologique. Par ailleurs, ils permettent de mettre au point les technologies nécessaires pour construire un dépôt final. Ils peuvent également servir à observer le comportement à long terme des barrières et des systèmes de surveillance sur un dépôt final.

#### *Roches cristallines en général*

Le cristallin s'est formé lors du refroidissement du magma sous haute pression et haute température. Le socle cristallin se compose essentiellement de granit et de gneiss. Il en existe au nord du Rhin, dans la Forêt-Noire, et vers le sud au-dessous des couches sédimentaires.

**Avantages du cristallin:** Au premier regard la roche cristalline donne l'impression d'être une roche compacte et imperméable. Du fait de son mode de création, elle est très résistante à la chaleur et peut diffuser celle-ci facilement. Pour y faire des galeries il n'y a pas de problème, elle est solide et on avance vite avec les machines d'aujourd'hui. Ces arguments sont favorables pour des dépôts des DHA ; de ce fait beaucoup de pays pensent que les roches cristallines constituent la meilleure solution.

**Désavantages du cristallin:** Le cristallin est très imperméable et très dur, mais ces deux propriétés peuvent aussi devenir un désavantage. Puisque le cristallin est si dur, il peut se produire des petites fissures de quelques millimètres, mais celles-ci peuvent devenir très grandes et très longues. Dans ces petites fissures peut circuler de l'eau et, si une fissure aboutit à un dépôt final, on aurait un problème. Pour la planification d'un dépôt final des simulations par ordinateur sont effectuées, mais il y a beaucoup trop de facteurs qui interviennent. Donc, il est très difficile de trouver un bon endroit. La science actuelle n'est pas assez avancée pour prévoir où vont se créer ces fissures.

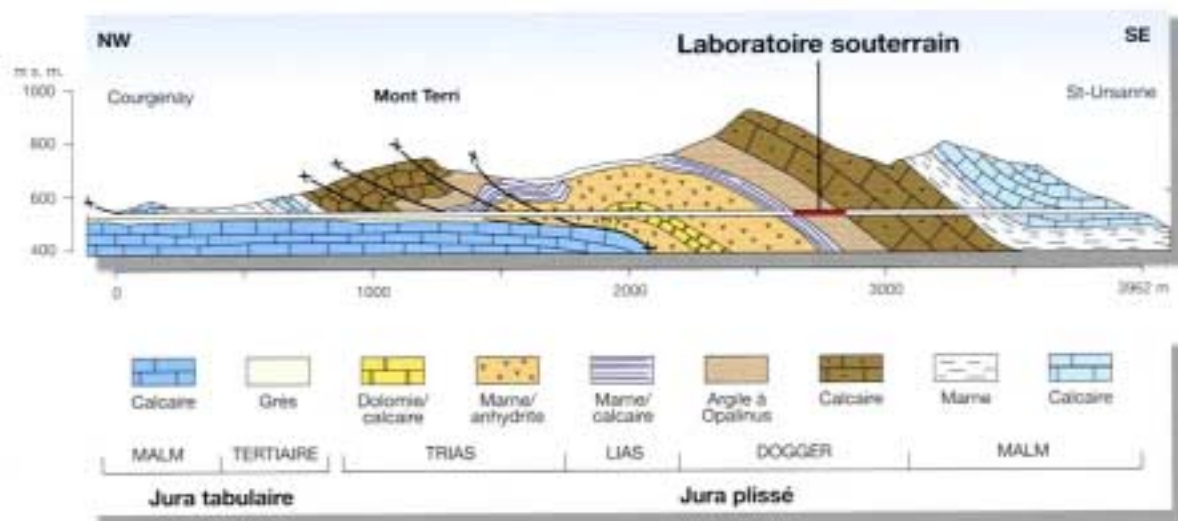


**Fig 9.** Laboratoire souterrain dans une galerie du Grimsel

## 6.2. L'option dans les sédiments (argiles à opalinus)

### *Laboratoire souterrain du Mont Terri*

C'est un projet de recherche international dans la galerie de reconnaissance du Mont Terri (près de St-Ursanne dans le Jura) pour l'évaluation des caractéristiques hydrogéologiques, géochimiques et géotechniques dans la formation argileuse (argiles à opalinus). Ces caractéristiques sont de première importance pour assurer la sécurité d'un dépôt final pour des déchets hautement radioactifs. Pour ces expériences, on a fait au Mont Terri des forages d'au maximum de 30 mètres, dans différentes directions, pour avoir une série de mesures. La galerie de reconnaissance du Mont Terri a été excavée en 1989 pour reconnaître les conditions géologiques et géotechniques des roches avant la construction du tunnel autoroutier.



**Fig 10.** Transversale du Mont Terri

Plusieurs pays sont intéressés à stocker les déchets radioactifs dans des roches argileuses. C'est la raison pour laquelle différentes organisations d'Allemagne, de Belgique, d'Espagne, de France et du Japon se sont jointes au projet. Cinq des ces organisations ont déjà un laboratoire souterrain.

Il n'est pas question d'entreposer des matériaux radioactifs au Mont Terri. La géologie locale, les plissements et les structures tectoniques compliquées du Jura ne sont pas très favorables pour faire un dépôt souterrain. Le Mont Terri est seulement bien pour y faire des études géophysiques parce que la couche d'argiles à opalinus monte jusqu'à la surface. Mais dans le Zürcher Weinland les conditions tectoniques sont très favorables et la couche d'argiles à opalinus est à une profondeur de 800 mètres. C'est là qu'on pourrait faire un dépôt final pour les DHA.

### *Argile à opalinus*

Les argiles à opalinus ont été formées il y a 180 millions d'années. Leur épaisseur atteint à peu près 100 m au Mont Terri. Elles contiennent 40 à 80% de minéraux. Environ 10% de ces minéraux sont gonflants, c'est-à-dire que la roche augmente de volume en présence d'eau. Les autres composants de cette roche sont le quartz, la calcite, la sidérite et la pyrite.

*Avantages* : les argiles à opalinus sont extrêmement peu perméables. Dans la construction de la galerie aucune goutte d'eau, ni des tâches d'humidité n'ont pu être observées. Cette qualité permet de faire un dépôt sans que de l'eau serait pollué. Les argiles à opalinus sont aussi plastiques. Quand une fissure se produit, les argiles se ferment d'elle-même, parce que de l'eau arrive dans les fissures, produisant ainsi le gonflement des argiles.

*Désavantages*: Un des problèmes est qu'à la surface les argiles sont souples et plastiques tandis qu'en profondeur, là où on aimerait faire des dépôts, les argiles sont plus solides. Lorsque elles sont plus solides elles perdent un peu de leurs propriétés. Les argiles souples ne sont pas très résistantes à la chaleur. Alors le problème devient que de la chaleur est encore dégagée par les DHA. Un autre problème subsiste du fait que les argiles sont souples et qu'on doit toujours faire des renforcements pour creuser des galeries.

Le problème est qu'en Suisse les couches de cristallin sont trop petites ou pas assez compactes. Donc on pense que la solution finale dans les argiles soit plus avantageuse que dans le cristallin. La NAGRA pense que la meilleure solution est dans le Zürcher Weinland.

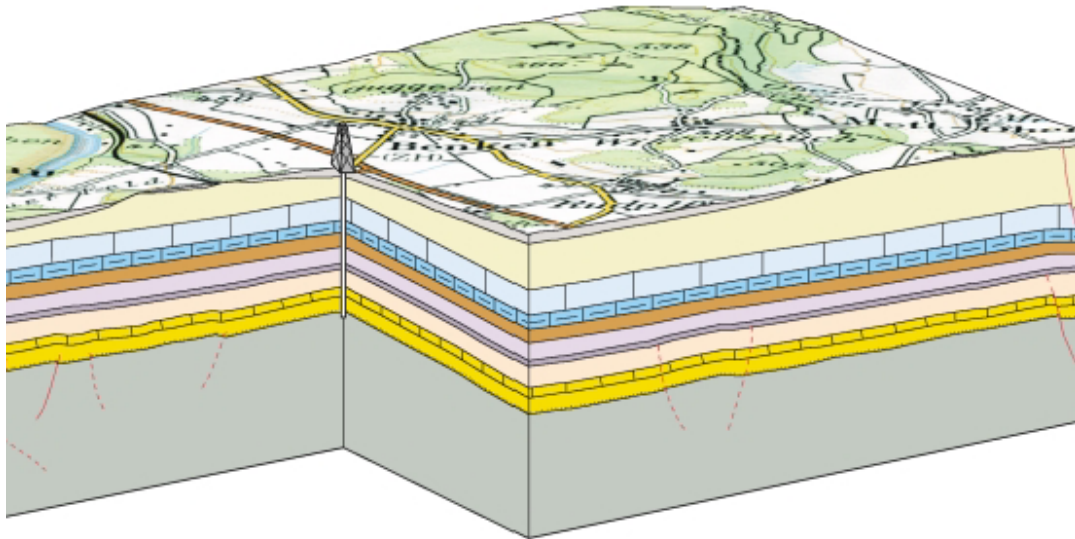


Fig 11. Coupe transversale dans le Zürcher Weinland

## 7. Politique des déchets hautement radioactifs

Le problème des déchets hautement radioactifs est aussi un problème politique, vu que les questions de l'élimination concernent toute la population. Beaucoup de gens sont contre l'énergie nucléaire parce que c'est une technologie à risque. D'autres sont pour l'énergie nucléaire parce qu'ils disent qu'il n'y a pas d'autres sources d'énergie en Suisse.

La gestion des déchets radioactifs est une question de première importance pour la société. Ce problème doit être résolu avec la garantie de la protection de l'homme et de l'environnement. La génération actuelle a la responsabilité de s'engager dans le développement durable, pour ne

pas charger les générations futures de problèmes non résolus. C'est un débat plein de controverses qui doit être mené dans notre société.

Le rayonnement ionisant peut avoir des effets dangereux sur tous les êtres vivants. Pour éviter ses conséquences nuisibles, l'environnement et l'homme doivent être protégés contre les influences des déchets radioactifs. En Suisse on a un concept pour la gestion des déchets radioactifs : le conditionnement des déchets, leur entreposage intermédiaire et leur stockage final.

Plus vite les déchets seront dans un dépôt géologique en profondeur, plus vite la sécurité sera garantie. Dans un dépôt souterrain, ils sont mieux protégés contre des influences extérieures, par exemple des catastrophes naturelles, la guerre, le terrorisme ou des chutes d'avions. Le succès dans la recherche d'un site pour un dépôt final ne dépend pas seulement de la technologie et de la science, mais aussi de la sociologie et de la politique.

Quand un site est trouvé pour un dépôt en profondeur, la population de la région est en général contre ce projet, parce qu'elle pense qu'il y a toujours un risque de pollution pour elle-même et l'environnement. Mais les organisations responsables doivent apporter l'assurance qu'un dépôt en profondeur ne cause aucun danger pour l'environnement, ce dont il est très difficile de convaincre une population réticente. Par exemple au Wellenberg, le canton de Nidwald a renoncé d'avoir un dépôt de faible et moyenne radioactivité parce que la population n'en voulait pas. Au Wellenberg, après recherches, on a trouvé que ce site serait idéal pour un dépôt final. A la conclusion, le projet a échoué seulement sur le plan politique, car toutes les décisions importantes doivent être prises démocratiquement au niveau national et régional.

Vendredi 20 décembre 2002, la NAGRA a présenté un justificatif aux autorités fédérales où elle annonce que la gestion des assemblages combustibles usés ainsi que des déchets hautement radioactifs est en principe possible en Suisse. Il s'agit d'une étape majeure du programme suisse de gestion des déchets radioactifs. La NAGRA a mené un long programme d'investigations dans différentes roches parmi lesquelles elle a trouvé de bonnes conditions dans les argiles à opalinus, un site ayant été trouvé à Benken dans le Zürcher Weinland. La prochaine étape consistera en l'examen technique de la documentation par la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) et la Commission fédérale de la sécurité des installations atomiques (CSA). Il est prévu ensuite d'organiser une procédure de mise à disposition publique. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) continue pour sa part à faire une politique d'information avec une communication ouverte.

## **8. Conclusion**

La gestion des déchets radioactifs est une question de grande importance puisque les déchets hautement radioactifs sont très nocifs. Il faut alors les séparer de la biosphère à long terme afin de protéger l'homme et tout son environnement. Dans les DHA, certains déchets ont une demi-vie de plusieurs millions d'années. Mais il y en a encore beaucoup d'opinions contradictoires sur la question du retraitement.

L'élimination est liée à la politique de l'énergie nucléaire. L'énergie nucléaire est recommandée par les uns et redoutée par les autres. Il est donc très difficile de développer une politique commune. La génération actuelle profite avantageusement de l'énergie nucléaire, puisque plus d'un tiers de notre énergie électrique provient des centrales nucléaires.

Les sociétés des centrales nucléaires sont directement responsables d'une élimination finale; elles doivent garantir la protection de l'environnement et de la population. La nouvelle loi



sur l'énergie nucléaire fixera plus concrètement les devoirs du producteur pour l'élimination. Le problème des DHA est aussi un problème politique puisque tout le monde profite de l'énergie nucléaire. La génération actuelle est responsable de s'engager dans le développement durable, pour ne pas charger les générations futures de problèmes non résolus.

## 9. Opinion personnelle

La génération qui a profité de l'énergie nucléaire devrait aussi éliminer tous les déchets qu'elle a produits. A long terme, l'énergie nucléaire n'est pas une solution, parce que beaucoup de risques subsistent et nous devrions chercher encore plus de ressources d'énergies renouvelables qui ne chargent pas la nature et qui n'ont pas d'émission de CO<sub>2</sub>.

Au plan scientifique, la NAGRA a fait beaucoup de progrès. L'élimination des DHA dans l'argile à opalinus semble être une bonne solution. Ce qui manque est une solution au niveau politique. Personnellement, je suis pour une élimination en Suisse, car nous ne pouvons pas produire de l'énergie et exporter les déchets vers l'étranger.

Il faut aussi éviter que les producteurs et les opposants se mettent ensemble dans une «alliance non sainte» contre une élimination finale: des opposants de l'énergie nucléaire, d'une part, ne donnant leur accord que sous condition d'une sortie du nucléaire et des exploitants, d'une autre, pouvant perdre leur intérêt à éliminer les déchets pour d'autres raisons, telles une réduction des coûts.

La gestion des déchets hautement radioactifs passe par plusieurs étapes: conditionnement des déchets, stockage intermédiaire, élimination dans un dépôt final. A mon avis, il faudrait aller jusqu'au bout, c'est-à-dire encore éliminer les déchets radioactifs.

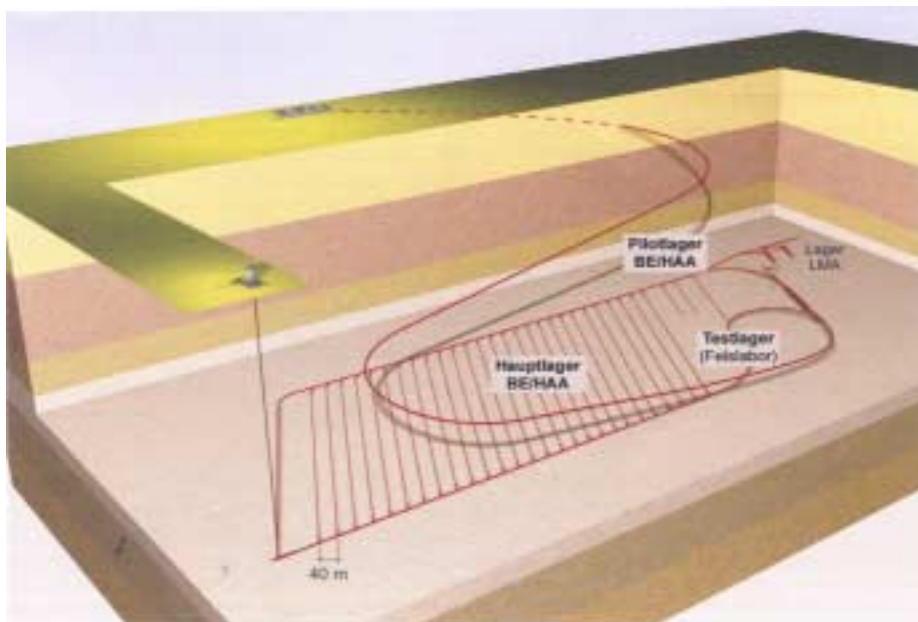


Fig 12. Schéma d'un dépôt final des déchets de haute activité de décembre 2002

### Références bibliographiques

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

[www.atomenergie.ch](http://www.atomenergie.ch)

[www.greenpeace.ch](http://www.greenpeace.ch)

[www.mont-terri.ch](http://www.mont-terri.ch)

[www.NAGRA.ch](http://www.NAGRA.ch)

[www.grimself.com](http://www.grimself.com)

[www.andra.fr](http://www.andra.fr)

[www.NAGRA.ch](http://www.NAGRA.ch)

[www.admin.ch](http://www.admin.ch)

[www.ntc.industrie.fr/Fr/](http://www.ntc.industrie.fr/Fr/)

Focus 01 (1998); Cahier de la gestion des déchets nucléaires (NAGRA)  
Le concept de la gestion nucléaire

Focus 02 (1999) Cahier de la gestion des déchets nucléaires (NAGRA)  
Stocker les déchets

Focus 03 (2001) Cahier de la gestion des déchets nucléaires (NAGRA)  
La radioactivité

Bulletin 34 (2002) Technical-scientific contributions on the topic of nuclear waste management  
Rock laboratories  
NAGRA

Bulletin 33 (2002) Technisch-wissenschaftliche Fachbeiträge zur nuklearen Entsorgung  
NAGRA

Radioactivité et radioprotection  
Office fédéral de la santé publique

Greenpeace  
Die Zeitung mit Mehrsicht (2002)

Atomkraft - schweres Erbe für die Zukunft  
Strahlenrisiko, Atommüllberge, Reaktorunfälle  
Greenpeace

Nukleare Entsorgung Schweiz  
No 2, 1992 informiert (NAGRA)  
..

Stockage intermédiaire des déchets radioactifs  
No 23, mars 1999 informe (NAGRA)

Programme de stockage final des déchets de haute activité

No 25, mars 1995 informe (NAGRA)

L'argile : du mur de torchis au dépôt final  
No 31, décembre 1997 informe (NAGRA)

Kernkraftwerk Gösgen Technik und Betrieb

Contribution à la stratégie de gestion des déchets radioactifs en Suisse  
Groupe d'experts pour les modèles de gestion des déchets radioactifs (EKRA)  
Octobre 2002