

Voyage de presse «La gestion du combustible nucléaire en Suisse», octobre 2014

Dossier de presse

Sommaire

L'uranium en tant que ressource	2
Le cycle du combustible nucléaire	3
Crayons combustibles / Assemblages combustibles	3
Désactivation dans les centrales nucléaires	4
Retraitement	4
Combustible à uranium de retraitement (RepU)	5
Le concept de la gestion des déchets radioactifs	5
Provenance des déchets radioactifs	5
Catégories et volumes des déchets radioactifs	5
Entreposage	7
Traitement des déchets radioactifs	8
Stockage géologique en profondeur	9
Récupérabilité des déchets radioactifs	10
Roches d'accueil potentielles – les argiles à Opalinus	10
Comportement à long terme des déchets radioactifs	11
Laboratoire souterrain du Grimsel	12
Laboratoire souterrain du Mont Terri	12
Conditions juridiques et politiques, procédures	13
Procédures d'autorisation des installations nucléaires	13
Démonstration de la faisabilité du stockage géologique	13
Procédure du plan sectoriel	14
Choix de sites en trois étapes	15
Etat de la procédure du plan sectoriel	17
Financement de la gestion des déchets nucléaires	18

L'uranium en tant que ressource

Le noyau de l'atome d'uranium recèle énormément d'énergie. Les centrales nucléaires n'ont donc besoin que de quantités minimales de combustible pour produire de grandes quantités d'électricité. Une centrale nucléaire du palier de 1000 MW telle que celle de Gösgen ne nécessite chaque année que quelque 200 tonnes d'uranium naturel pour fournir de l'électricité à un million de personnes environ. Une centrale au charbon de la même taille nécessiterait à cette fin la combustion de plus de deux millions de tonnes de charbon, une centrale au fioul de 1'400'000 tonnes d'huile lourde, et une centrale à gaz moderne de 980'000 tonnes de gaz naturel. Ces fortes différences apparaissent aussi pour le transport et le stockage.

Pour cette même raison, les volumes de déchets radioactifs issus de l'exploitation des centrales nucléaires sont très faibles. Il est donc techniquement possible et économiquement faisable de retenir, confiner et évacuer de manière sûre et durable les déchets radioactifs (voir le mot-clé «stockage géologique en profondeur»).

La densité énergétique élevée de l'uranium et le volume comparativement très faible des déchets radioactifs engendrés expliquent en premier lieu pourquoi – conjointement avec la force hydraulique et le vent – l'énergie nucléaire est la mieux placée par rapport aux autres techniques actuelles de production d'électricité sous l'angle de l'impact global sur l'environnement.

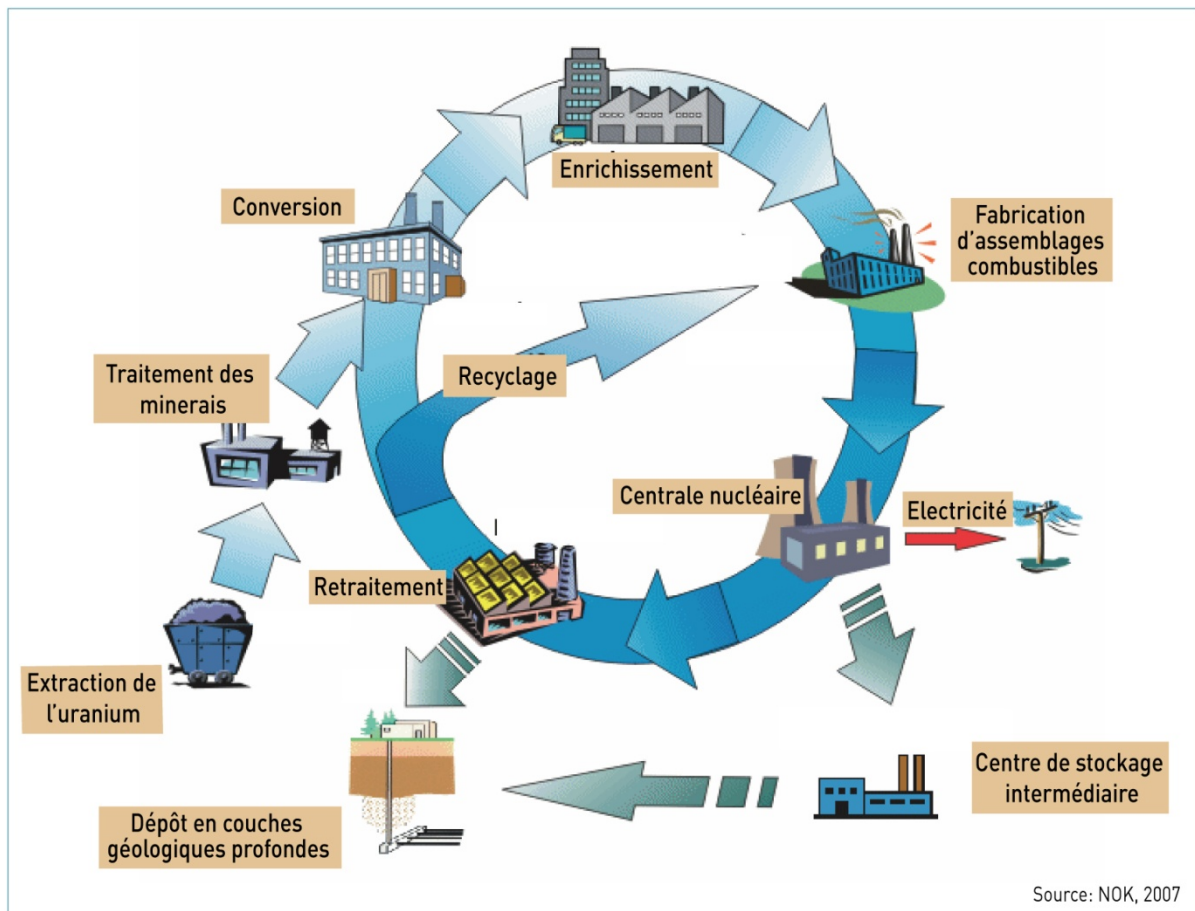
Ce point positif est important face aux défis qui se posent à l'humanité confrontée à un besoin énergétique croissant, essentiellement dans les nouveaux pays industrialisés à population élevée comme la Chine, le Brésil ou l'Inde. Il s'agit de réduire au minimum l'impact sur l'environnement et le climat dû à la production d'énergie, tout en économisant autant que possible les matières premières de plus en plus rares et chères comme le fer, le cuivre ou l'aluminium.



Le combustible d'uranium tel qu'il se présente pour son utilisation dans les centrales nucléaires. Deux de ces pastilles d'oxyde d'uranium (UO₂) permettent de couvrir la consommation d'électricité d'un ménage de quatre personnes pendant un an. (Photo: Centrale nucléaire de Gösgen)

Le cycle du combustible nucléaire

L'expression «cycle du combustible nucléaire» regroupe les différentes étapes du processus d'extraction de l'uranium, de son traitement en combustible nucléaire en vue d'une utilisation dans le réacteur, du recyclage du combustible nucléaire utilisé par retraitement, ainsi que de l'évacuation des déchets radioactifs.



Crayons combustibles / Assemblages combustibles

Le combustible nucléaire utilisé en Suisse, à savoir de l'oxyde d'uranium, a la forme de petites pastilles qui sont enfilées dans de minces tubes de plusieurs mètres de longueur, soudés de manière étanche au gaz, et résistant à la pression. Ces tubes sont fabriqués dans des alliages métalliques spéciaux. Le combustible et sa gaine constituent ensemble un «crayon combustible». Selon le type du réacteur, un nombre plus ou moins important de crayons combustibles sont paquetés en fagots compacts appelés assemblages combustibles. Ces assemblages combustibles – leur nombre exact dépend à nouveau du type de réacteur – forment ensemble le «cœur» du réacteur. Ils ont une durée de vie de quelques années. Lors du renouvellement du combustible, qui a lieu toutes les années, on remplace chaque fois environ un quart des assemblages combustibles.



Un assemblage combustible est préparé pour son chargement dans le réacteur: le génie nucléaire est propre, compact et n'exige pas de transports massifs de matériel, contrairement au charbon, au pétrole ou au gaz naturel. (Photo: Centrale nucléaire de Gösgen)

Désactivation dans les centrales nucléaires

Les produits de fission engendrés pendant l'exploitation du réacteur sont hautement radioactifs et ils dégagent encore beaucoup de chaleur du fait de la décroissance de la radioactivité. C'est pour cette raison qu'après leur déchargement du réacteur, on laisse les assemblages combustibles usés se désactiver pendant un an au moins dans une piscine avant de les transporter de la centrale nucléaire à l'usine de retraitement ou, depuis le moratoire (voir le mot-clé «Retraitement / Moratoire»), de les transférer directement dans le dépôt intermédiaire. Les piscines de désactivation se trouvent près des réacteurs et sont remplies d'eau destinée à évacuer la chaleur des assemblages combustibles et à assurer un blindage contre les rayonnements. En outre, la centrale nucléaire de Gösgen dispose d'un dépôt en piscine bien protégé à l'extérieur du bâtiment réacteur.

Retraitement

Une fois déchargé du réacteur, le combustible nucléaire usé issu des centrales nucléaires suisses contient toujours 95% d'uranium et environ 1% de plutonium, matières qui peuvent encore être utilisées l'une comme l'autre. Les 4% restants sont des résidus présents sous forme de produits de fission hautement radioactifs. Les usines de retraitement telles que celle de La Hague, sur les côtes françaises de la Manche, permettent, au moyen de toute une série de processus chimiques, de séparer l'uranium et le plutonium des déchets de haute activité. Les matières ainsi récupérées sont à nouveau disponibles pour la production d'électricité. Les résidus ultimes sont solidifiés en blocs de verre pour le stockage géologique en profondeur. Ce recyclage permet de préserver les ressources en uranium et d'optimiser le volume des déchets radioactifs.

Moratoire en Suisse

Les assemblages combustibles usés ne peuvent plus être exportés en vue de leur retraitement pendant une période de dix ans depuis le 1^{er} juillet 2006. C'est le Parlement fédéral qui a pris cette décision en 2003. Cela ne pose pas de problème de logistique puisqu'ils peuvent être entreposés au Centre de stockage intermédiaire Zwiilag de Würenlingen (voir le mot-clé «Entreposage»). Le message de la «Stratégie énergétique 2050» prévoit que ce moratoire soit remplacé par une interdiction.

Combustible à uranium de retraitement (RepU)

RepU est l'abréviation de l'anglais «reprocessed uranium», uranium retraité. Il est séparé lors du retraitement du combustible nucléaire usé et est à nouveau disponible par recyclage pour la production d'électricité dans des centrales nucléaires. Si le RepU permet de préserver des ressources énergétiques précieuses, il contient encore cependant 1% tout au plus d'uranium fissile. Pour qu'il puisse être utilisé dans les centrales nucléaires, il faut tout d'abord que l'uranium fissile soit enrichi. Il existe deux méthodes pour cela: soit on applique les mêmes procédés d'enrichissement de l'uranium d'origine naturelle, soit on mélange le RepU avec de l'uranium hautement enrichi provenant d'armes nucléaires démantelées jusqu'à ce que le taux d'enrichissement souhaité soit atteint. Ce deuxième procédé est utilisé depuis la fin de la guerre froide, ce qui constitue une contribution sensée à la réduction de l'arsenal d'armes nucléaires.

Les exploitants suisses ont cessé d'utiliser du combustible contenant du RepU.

Le concept de la gestion des déchets radioactifs

Provenance des déchets radioactifs

Des déchets radioactifs sont produits à de multiples endroits: dans les centrales nucléaires surtout, mais aussi, à hauteur d'environ un tiers du volume global, lors de l'utilisation de substances radioactives dans la médecine (par exemple en radiothérapie), dans l'industrie (par exemple avec les chiffres lumineux et l'irradiation des épices) et dans la recherche.

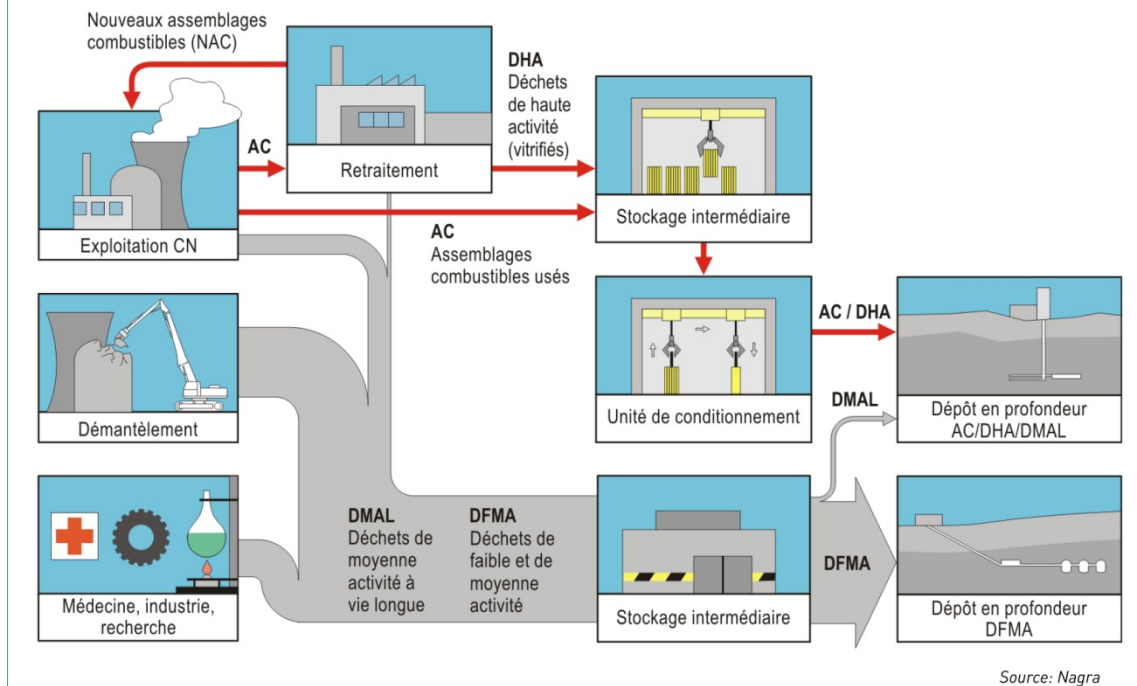
Sans que le public ne s'en soit vraiment rendu compte, des tâches essentielles de la gestion des déchets ont déjà été accomplies: nous savons exactement où se trouvent les déchets des différentes catégories (inventaire). Leur traitement et leur conditionnement en vue du stockage définitif, de même que leur entreposage, font partie aujourd'hui de la routine d'exploitation. Il faut rappeler également que le financement de la gestion des déchets est garanti (voir le mot-clé «Financement de la gestion des déchets nucléaires»).

Catégories et volumes des déchets radioactifs

La nouvelle ordonnance sur l'énergie nucléaire distingue les catégories de déchets suivantes:

- **Déchets de haute activité (AC/DHA):** ils comprennent les assemblages combustibles usés (AC) et les solutions vitrifiées hautement radioactives issues du retraitement (DHA). Les assemblages combustibles usés peuvent être retraités ou envoyés directement au stockage en couches géologiques profondes. Lors du retraitement, les produits de fission hautement radioactifs dans les assemblages combustibles sont séparés de l'uranium et du plutonium réutilisables, et fondus en solutions vitrifiées (voir les mots-clés «Retraitement / Moratoire en Suisse»).
- **Déchets de faible et de moyenne activité (DFMA):** ils proviennent à hauteur d'un tiers chacun de l'exploitation et du démantèlement des centrales nucléaires ainsi que de la médecine, de l'industrie et de la recherche.
- **Déchets alpha-toxiques (ATA/DMAL):** cette catégorie correspond à peu près à l'ancienne catégorie des déchets de moyenne activité à vie longue (DMAL). Ces déchets proviennent essentiellement du retraitement des assemblages combustibles usés à l'étranger.

La gestion des déchets radioactifs en Suisse



Deux dépôts en couches géologiques profondes sont prévus pour l'évacuation de ces déchets: un dépôt pour les déchets de haute activité (AC/DHA) et un autre pour les déchets de faible et de moyenne activité (DFMA). Les déchets ATA/DMAL iront au dépôt AC/DHA.

Le tableau suivant récapitule les volumes de déchets issus, selon les calculs de la Nagra, de 50 ans d'exploitation des centrales nucléaires suisses (déchets de démantèlement des centrales compris), ainsi que de la médecine, de l'industrie et de la recherche :

	Déchets de faible et de moyenne activité DFMA, ATA/DMAL ^a compris		Déchets de haute activité AC/DHA	
	«conditionnés ^b »	emballés ^c	«conditionnés ^b »	emballés ^c
Centrales nucléaires	env. 39'000 m ³	env. 60'000 m ³	1250 m ³	7300 m ³
Médecine, industrie et recherche	env. 27'000 m ³	env. 33'000 m ³	–	–
Total	env. 66'000 m³	env. 93'000 m³	1250 m³	7300 m³

^a Le volume des ATA/DMAL est de 2300 m³ (emballés).

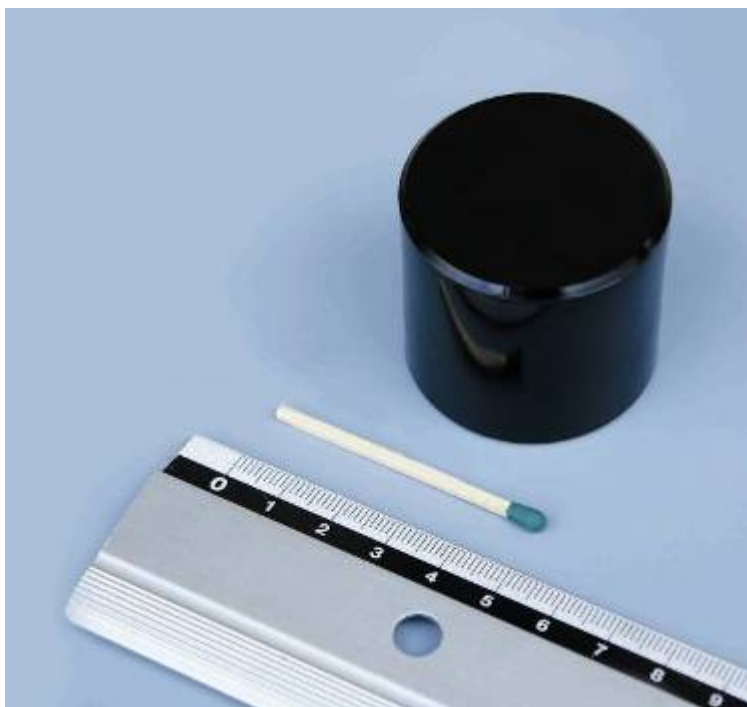
^b «Conditionnés» signifie traités en une forme stable (ciment, bitume, «verre plasma»).

^c «Emballés» signifie soudés dans des conteneurs de dépôt final en acier fondu (DHA) ou coulés dans un ciment spécial (DFMA).

- Les volumes d'assemblages combustibles usés et de déchets de haute activité sont très faibles. Emballage compris, il faut évacuer 7300 mètres cubes, ce qui correspond à l'encombrement d'environ six maisons individuelles. Les déchets de haute activité renferment 98,3% de la radioactivité de tous les déchets.
- En volume, environ un tiers (33'000 m³) des DFMA emballés proviennent de la médecine, de l'industrie et de la recherche et presque autant (env. 28'000 m³) du démantèlement des centrales nucléaires. Les DFMA renferment 1,7% de la radioactivité de tous les déchets. Ils n'ont pas besoin de période de refroidissement et peuvent être emmagasinés à tout moment dans un dépôt profond. Ces dépôts sont en service depuis des années déjà dans quelques pays comme la France, la Suède ou la Finlande. Au total, il existe plus de 20 dépôts destinés aux déchets de faible et de moyenne activité dans le monde.
- Le volume total de l'ensemble des déchets emballés, y compris des déchets de haute activité, correspond au volume du hall de la gare de Zurich ou à celui d'un grand bâtiment administratif.

En vertu de la loi sur l'énergie nucléaire, tous les déchets radioactifs doivent, en Suisse, être stockés définitivement sous terre et se trouver ainsi à l'écart de l'espace vital des hommes, des animaux et des plantes.

Au vu des faibles quantités de déchets radioactifs produits, il est techniquement possible et économiquement faisable de retenir, confiner et évacuer ces déchets de manière sûre et suffisamment durable.



Au bout de 50 ans d'utilisation de l'énergie nucléaire, voici la quantité de combustible usé hautement radioactif produit par chaque habitant de la Suisse, soit l'équivalent de deux petites boîtes d'allumettes. (Photo: Forum nucléaire suisse)

Entreposage

Des dépôts de stockage intermédiaire sont nécessaires car en raison de la chaleur qu'ils émettent au départ, les assemblages combustibles usés et les déchets de haute activité (AC/DHA) doivent être entreposés pendant quelques décennies avant leur stockage définitif dans des dépôts géologiques profonds. L'entreposage des assemblages combustibles s'effectue tout d'abord auprès des centrales nucléaires, puis dans les installations du Centre de stockage intermédiaire Zwiilag (Zwischenlager

Würenlingen AG) créé en 1990 par les exploitants suisses de centrales nucléaires, centre situé à proximité immédiate de l'Institut Paul-Scherrer (PSI).

A Zwilag, les assemblages combustibles usés et les déchets de haute activité vitrifiés issus du retraitement sont entreposés dans des conteneurs de transport et de stockage à parois épaisses, scellés de manière étanche et protégés contre les agressions extérieures. Les déchets de faible et de moyenne activité provenant de l'exploitation des centrales sont eux aussi transférés à Zwilag. Quant aux déchets issus de la médecine, de l'industrie et de la recherche, ils sont conservés dans un dépôt intermédiaire de la Confédération près de Zwilag. Les capacités de stockage ont été calculées de manière large et suffiront pendant des décennies, si bien que l'on dispose de suffisamment de temps pour la mise à disposition de dépôts géologiques profonds.



Conteneurs avec assemblages combustibles usés et déchets de haute activité au Centre de stockage intermédiaire de Würenlingen. (Photo: Zwilag)

Traitement des déchets radioactifs

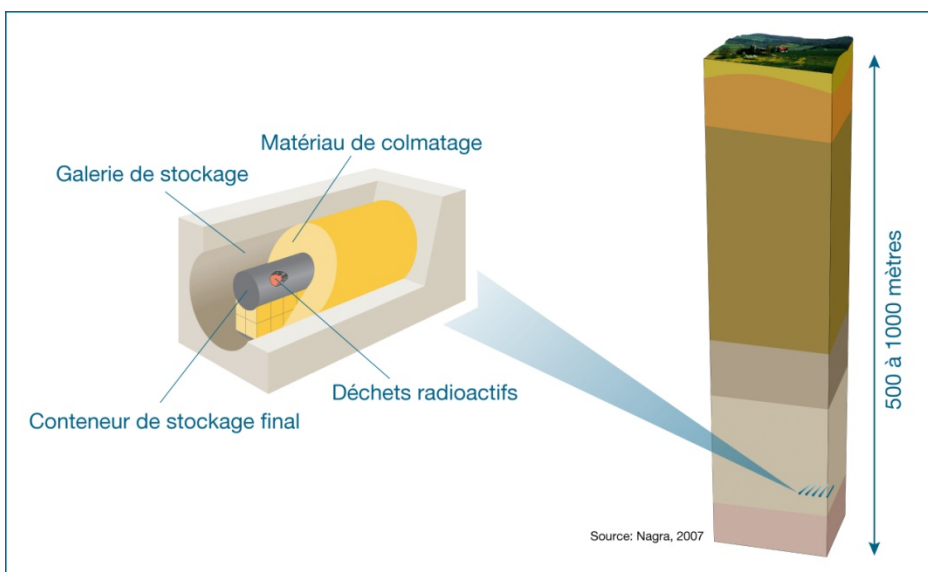
A Zwilag, les déchets de faible et de moyenne activité provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche, ainsi que les déchets d'exploitation issus des centrales nucléaires, sont amenés sous une forme solide, appropriée au stockage en profondeur, et sont emballés (cimentés dans des fûts, bituminés ou coulés dans du verre). Zwilag exploite notamment à cette fin le premier four à plasma à avoir été mis en service au monde, dans lequel les déchets de faible activité sont thermiquement décomposés à des températures très élevées, fondus et mélangés à du verre. Les blocs de déchets similaires à du verre qui en résultent sont extrêmement résistants du point de vue chimique et difficilement lixiviables, des particularités optimales pour leur stockage ultérieur dans des dépôts géologiques profonds. L'incinération ne diminue pas la radioactivité des déchets, mais réduit leur volume.

Pour le stockage en dépôt géologique profond, les déchets sont également emballés dans des conteneurs en béton, ce qui entraîne une augmentation des volumes totaux.

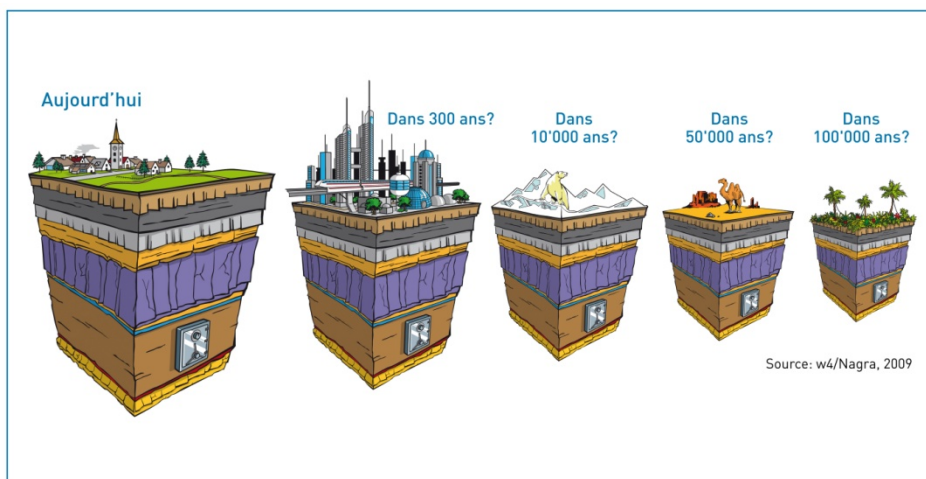
Stockage géologique en profondeur

Les déchets radioactifs issus de l'exploitation et de la désaffectation des centrales nucléaires devraient être stockés à une grande profondeur sous la surface de la terre, en même temps que les déchets issus de l'industrie, de la recherche et de la médecine. De tels dépôts géologiques en profondeur sont reconnus par les scientifiques du monde entier comme la meilleure stratégie de gestion des déchets radioactifs. Des formations rocheuses géologiquement stables depuis des millions d'années, et pratiquement imperméables à l'eau, permettent de confiner de manière naturelle et sûre toutes les catégories de déchets radioactifs jusqu'à la décroissance de leur radioactivité. Pour les déchets de faible et de moyenne activité (DFMA), des douzaines de dépôts profonds sont déjà en service dans le monde.

Les assemblages combustibles usés et les déchets de haute activité (AC/DHA) doivent être entreposés pendant une certaine période avant leur stockage définitif (voir mot-clé «stockage intermédiaire»). Des dépôts profonds ne seront donc nécessaires pour cette catégorie de déchets que dans quelques décennies. Des dizaines d'années de recherche ont permis à la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) de démontrer que des dépôts géologiques en profondeur sûrs pouvaient être construits en Suisse pour toutes les catégories de déchets.



Dépôt profond pour déchets de haute activité: plusieurs barrières techniques et naturelles veillent à la sûreté à long terme.



Stockage à long terme indépendamment des bouleversements en surface: la roche profonde confine les substances radioactives pour des millions d'années.

Récupérabilité des déchets radioactifs

La loi fédérale sur l'énergie nucléaire exige que les dépôts géologiques en profondeur soient construits de telle manière que les déchets radioactifs sont contrôlables et que, si nécessaire, leur récupération soit possible sans trop de difficultés avant le scellement du dépôt. Après l'emmagasinement des déchets, les dépôts en profondeur feront donc l'objet d'une surveillance souterraine pendant une certaine durée et la protection durable de l'homme et de l'environnement sera contrôlée. Le Conseil fédéral ordonnera ensuite le lancement des travaux de fermeture définitive du dépôt. Après la fermeture selon les règles, il pourra exiger une période de surveillance supplémentaire à partir de la surface. Les déchets pourront encore être récupérés après la fermeture du dépôt, mais à un coût plus élevé.

Roches d'accueil potentielles – les argiles à Opalinus

L'évaluation systématique de roches sédimentaires appropriées a conduit au choix des argiles à Opalinus comme formation géologique prioritaire se prêtant à l'aménagement d'un dépôt géologique en profondeur pour déchets de haute activité. L'argile à Opalinus est une roche argileuse qui s'est formée à l'époque jurassique il y a 175 millions d'années environ par la sédimentation uniforme de fines boues argileuses dans la zone plate d'une mer qui recouvrait alors de larges parties du nord de la Suisse actuelle et des pays limitrophes. Au cours de l'évolution de la terre, les boues se sont solidifiées en une couche d'argile qui se présente dans le sous-sol comme une roche dure.

Les argiles à Opalinus de régions étendues du nord de la Suisse ont des structures géologiques simples et se trouvent dans une zone très calme du point de vue tectonique, avec un faible taux seulement de soulèvement et d'érosion. Le plissement des Alpes et de l'Arc jurassique n'ont pas non plus déformé de manière significative cette roche.

Les argiles à Opalinus présentent des propriétés géochimiques et de la mécanique des roches qui sont favorables à la réalisation d'un dépôt en profondeur, c'est une roche qui est quasiment imperméable à l'eau et qui, dans le nord de la Suisse, s'étend à une profondeur favorable de 400 à 900 mètres. L'effet naturel de confinement est renforcé par des formations rocheuses majoritairement peu perméables qui se trouvent au-dessus et au-dessous des argiles à Opalinus.

Tous ces facteurs offrent une protection optimale sur une très longue période contre des influences perturbatrices possibles. C'est ainsi que l'eau interstitielle qui se trouve dans les argiles à Opalinus contient toujours de petites quantités d'eau de mer datant de plusieurs millions d'années. Cette grande stabilité de la géologie du nord de la Suisse permet d'évaluer de manière plausible des modifications futures des argiles à Opalinus à un horizon bien supérieur à un million d'années.



La nature documente avec pertinence – avec par exemple le confinement de gisements de pétrole et de gaz vieux de plusieurs millions d'années – la capacité de colmatage des argiles, illimitée sur de longs espaces de temps géologiques.

*La découverte d'une ammonite dans un forage du Weinland zurichois (photo ci-contre) offre un bel exemple des propriétés de conservation des argiles à Opalinus: même après 175 millions d'années, l'animal pétrifié n'est pas déformé et de la nacre se trouve encore sur sa coquille. Les ammonites étaient des céphalopodes primitifs (comme les seiches), dont le représentant *Leioceras opalinum* a donné son nom aux argiles à Opalinus. (Photo: Nagra)*

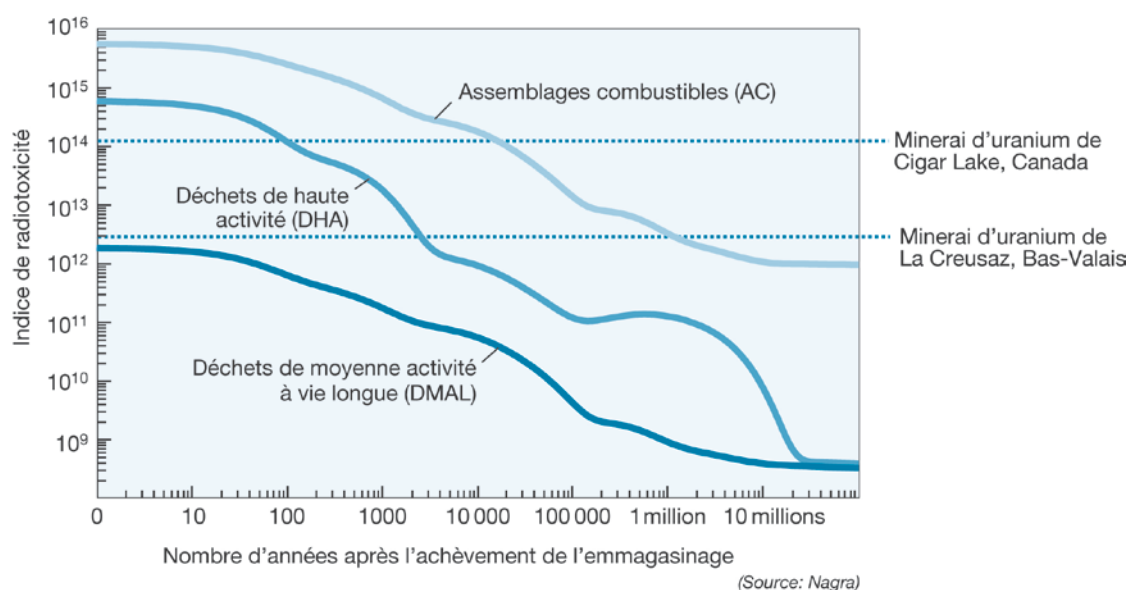
Comportement à long terme des déchets radioactifs

L'**activité** des déchets nucléaires – le nombre de désintégrations radioactives par seconde – décroît très fortement dans des espaces de temps géologiquement courts. L'activité des assemblages combustibles usés et des déchets de haute activité (AC/DHA) baisse, au cours des 100 premières années suivant l'emmagasinage, à environ un dixième, après environ 400 ans à moins d'un centième. Après 1000 ans, ces déchets ne rayonnent encore qu'environ cinq fois plus que la même quantité de pechblende (minerai naturel dont on extrait l'uranium) et restent ensuite très longtemps à ce niveau.

En plus de l'activité, il faut tenir compte de la **radiotoxicité** des déchets pour les êtres humains et pour l'environnement, c'est-à-dire de la «toxicité» au cas où les particules radioactives parviendraient dans le corps par le biais des aliments, de l'eau potable ou de l'air respiré, et y resteraient prisonnières. La décroissance de cette toxicité est beaucoup plus lente pour les assemblages combustibles usés et les déchets de haute activité. Cela est particulièrement valable pour les assemblages combustibles usés qui ne sont pas retraités, sont directement stockés dans des dépôts finals et ont donc une part élevée en uranium. Les très longues séries de désintégration de l'uranium sont aussi la raison pour laquelle des gisements naturels de minerai d'uranium ont une radiotoxicité qui baisse beaucoup plus lentement que celle des déchets de haute activité.

Pour les déchets de faible et de moyenne activité (DFMA), la radiotoxicité après quelques années à 200 ans environ – selon le type de déchets – correspond à une même quantité de minerai d'uranium exploitable dans les schistes ferreux de Saxe, et après environ 500 ans à celle d'engrais phosphatés.

Radiotoxicité des déchets emmagasinés comparée à celle de roches naturelles



Ce ne sont pas les années nécessaires pour atteindre les radiotoxicités de matières naturelles comparables qui sont déterminantes pour la sûreté à long terme des dépôts profonds, mais **la preuve de la qualité d'une géologie correctement sélectionnée**, en mesure de tenir les particules radioactives à l'écart de l'environnement, et cela au-delà des durées de désintégration (voir paragraphe «Roches d'accueil potentielles – les argiles à Opalinus»). Cela signifie que les particules radioactives sont désintégrées bien avant leur retour dans l'environnement par des processus géologiques lents. De même, des teneurs élevées en radioactivité dans un dépôt géologique profond ne font pas courir de risque sanitaire au milieu naturel en surface.

Laboratoire souterrain du Grimsel

La Nagra exploite depuis 1984 le laboratoire de recherche du Grimsel aménagé à 1730 mètres d'altitude dans la roche granitique du massif de l'Aar. Son système de galeries et de cavernes s'étend sur un kilomètre environ. A l'heure actuelle, environ deux douzaines d'organisations de 12 pays et de l'UE participent aux recherches technico-scientifiques menées au Grimsel (Allemagne, Belgique, Corée du Sud, Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Grande-Bretagne, Japon, République tchèque, Suède, et Suisse). L'Union européenne encourage financièrement certains projets. Le laboratoire souterrain fournit une contribution importante au maintien à long terme et au transfert aux générations futures du savoir-faire acquis sur le stockage géologique en profondeur.

Le laboratoire souterrain du Grimsel est utilisé exclusivement à des fins de recherche. Le stockage de déchets radioactifs y est exclu.

Laboratoire souterrain du Mont Terri

Depuis 1995, la Nagra est l'un des partenaires du laboratoire souterrain du Mont Terri, dans le canton du Jura, laboratoire aménagé dans une niche de la galerie de reconnaissance du tunnel autoroutier du Mont Terri (autoroute A16 Delémont-Porrentruy). Le laboratoire se trouve dans des argiles à Opalinus et permet d'effectuer des recherches sur les propriétés pertinentes de cette roche sous l'angle de la réalisation d'un dépôt profond. Les galeries et niches ont une longueur totale de 600 mètres environ. Le laboratoire du Mont-Terri constitue une plate-forme technico-scientifique pour la coopération internationale en matière de recherche sur l'aptitude des roches argileuses au stockage géologique en profondeur.

Le laboratoire du Mont Terri est géré depuis 2006 par l'Office fédéral de topographie (Swisstopo). Jusqu'à la fin de 2005, la direction était assurée par l'ancien Office fédéral des eaux et de la géologie. Parallèlement à la Nagra, des institutions d'Allemagne, de Belgique, du Canada, d'Espagne, des Etats-Unis, de France, du Japon et de l'UE participent au projet du Mont Terri. Dans ces pays, des formations argileuses similaires à celles qui prévalent en Suisse pourraient être prises en considération pour le stockage de longue durée.

Le laboratoire souterrain du Mont Terri est utilisé exclusivement à des fins de recherche. Le stockage de déchets radioactifs y est exclu.



Laboratoire souterrain du Mont Terri: recherche internationale dans les couches argileuses du Jura. (Photo: Forum nucléaire suisse)

Conditions juridiques et politiques, procédures

Procédures d'autorisation des installations nucléaires

Avant qu'une nouvelle installation nucléaire, telle qu'un entrepôt ou un dépôt en couches géologiques profondes, puisse être mise en service en Suisse, il est nécessaire de lancer trois procédures d'autorisation conformément aux dispositions de la loi sur l'énergie nucléaire entrée en vigueur le 1^{er} février 2005. Il est nécessaire de disposer chronologiquement d'une autorisation générale, d'un permis de construire et d'une autorisation d'exploitation.

– L'autorisation générale constitue la réponse donnée aux questions essentiellement politiques. Il constate en particulier s'il existe une volonté politique de construire une telle installation. Pour ce faire, le demandeur dépose sa demande auprès de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). L'OFEN commande alors les indispensables expertises techniques. Lorsque les expertises ont été remises, l'OFEN demande aux cantons et aux services spécialisés de la Confédération de rendre un avis dans les trois mois sur la demande d'autorisation et le résultat des expertises.

Au cours de la nouvelle période de trois mois qui suit et que dure la publication officielle de la demande et des avis des cantons et des services spécialisés de la Confédération, tout un chacun est habilité à présenter des objections. On procède alors au recueil d'avis concernant les objections et la demande est présentée au Conseil fédéral. Lors de la préparation de la décision d'autorisation générale, la Confédération intègre à la procédure les cantons d'implantation ainsi que les cantons et pays voisins situés à proximité immédiate du site prévu.

Le Parlement statue ensuite sur la décision du Conseil fédéral. Une autorisation générale approuvée par le Parlement peut ensuite faire l'objet d'un référendum facultatif. Si c'est le cas, la décision définitive est du ressort d'une votation populaire fédérale.

– La **procédure de permis de construire** regroupe toutes les autorisations nécessaires au niveau de la Confédération. Seuls des représentants habilités peuvent faire valoir leur point de vue. Le permis de construire est délivré par le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC). Sa décision peut faire l'objet d'un éventuel recours à deux niveaux: auprès du Tribunal administratif fédéral et auprès du Tribunal fédéral.

– La procédure d'obtention de l'autorisation d'exploitation est analogue à celle du permis de construire. Il existe là aussi une possibilité de recours à deux niveaux, auprès du Tribunal administratif fédéral et du Tribunal fédéral.

Démonstration de la faisabilité du stockage géologique

La loi fédérale sur l'énergie nucléaire, qui est entrée en vigueur le 1^{er} février 2005, exige, pour la construction et l'exploitation d'une centrale nucléaire, que l'on fournisse la démonstration de l'évacuation des déchets radioactifs produits. Cette démonstration doit montrer la faisabilité de principe de l'évacuation des déchets radioactifs en Suisse. Il ne s'agit pas de la sélection d'un site.

En 1988, le Conseil fédéral a décidé que la Nagra avait fourni la démonstration de l'évacuation des déchets de faible et de moyenne activité d'après l'exemple de l'Oberbauenstock, dans le canton d'Uri.

Le gouvernement national a exigé en même temps que les recherches effectuées en perspective de l'évacuation des déchets de haute activité et des déchets à vie longue soient étendues aux roches sédimentaires, alors que jusqu'à cette date, la Nagra avait placé au premier plan les roches cristallines du nord de la Suisse. C'est de cette exigence qu'est né le projet Argiles à Opalinus.

Fin 2002, la Nagra a soumis à la Confédération la démonstration de la faisabilité du stockage géologique des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Les expertises externes du projet Argiles à Opalinus ont donné lieu à des appréciations intégralement positives. Dans leurs prises de position, la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN, aujourd'hui: Inspection fédérale de la sécurité nucléaire, IFSN), la Commission fédérale de la sécurité des installations nucléaires (CSA, aujourd'hui: Commission de sécurité nucléaire, CSN) et la Commission pour la gestion des déchets radioactifs (CGD) sont parvenues en septembre 2005 à la conclusion générale que la démonstration de la faisabilité du stockage géologique de cette catégorie de déchets, démonstration exigée par la loi, était fournie.

A la demande des autorités, le projet Argiles à Opalinus a par ailleurs été expertisé par une équipe de spécialistes de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), spécialistes qui ont évalué positivement le projet.

Le 28 juin 2006, le Conseil fédéral a approuvé aussi la démonstration de la faisabilité du stockage géologique pour les assemblages combustibles usés et les déchets de haute activité, sur la base du projet Argiles à Opalinus du Weinland zurichois. On dispose ainsi de la démonstration requise par la loi sur l'énergie nucléaire, à savoir que des dépôts géologiques profonds et sûrs peuvent être construits en Suisse pour tous les types de déchets.

On a répondu à la question de savoir **comment** les déchets radioactifs peuvent être évacués durablement en Suisse. Aujourd'hui, la question de savoir **où** construire les dépôts profonds se pose. Cette décision sera prise dans les années à venir (cf. mot-clé «procédure du plan sectoriel»).

Avec la démonstration de la faisabilité du stockage géologique, le choix du site est juridiquement séparé de la poursuite de l'exploitation et d'éventuelles nouvelles constructions de centrales nucléaires.

Procédure du plan sectoriel

Pour la réalisation de projets d'infrastructure d'importance nationale, la Confédération peut exiger une procédure de plan sectoriel. Selon l'ordonnance sur l'énergie nucléaire en vigueur, la Confédération fixe, dans un tel plan sectoriel, les objectifs et les conditions du stockage des déchets radioactifs dans des dépôts en couches géologiques profondes.

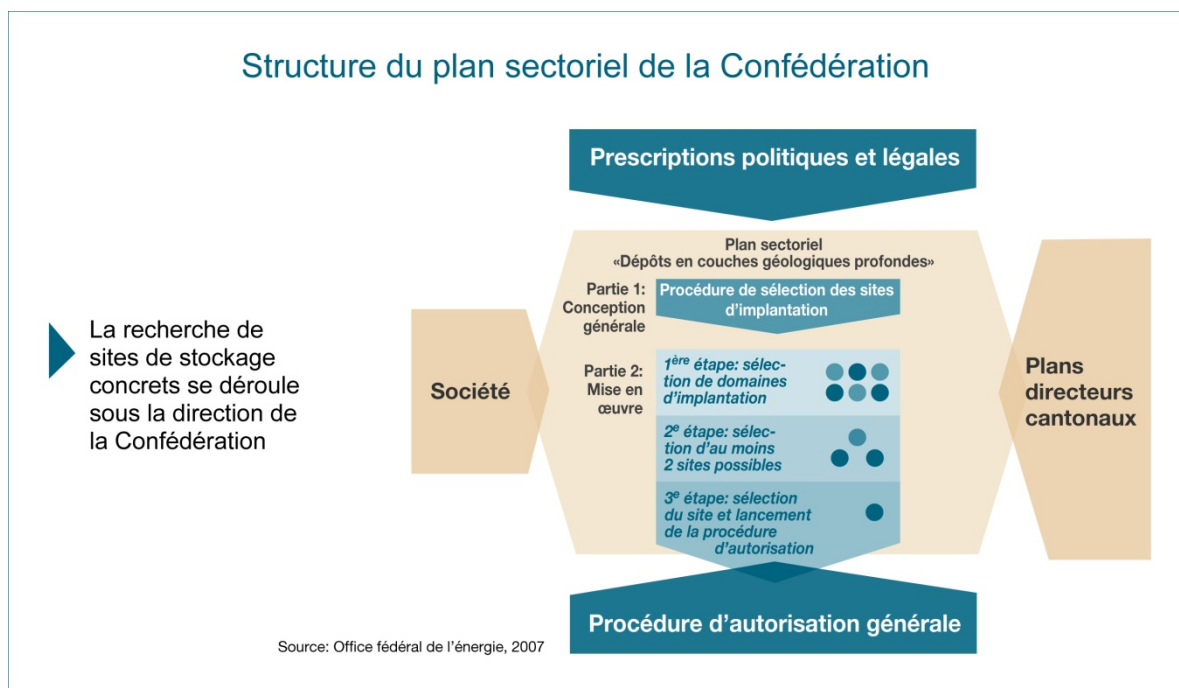
Le plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes» fixe les règles pour la recherche de site:

- La **première partie (conception générale)** fixe les procédures et les critères de sélection des dépôts en profondeur. L'objectif est de prévoir un déroulement, transparent pour tous, de l'ensemble des diverses phases de la sélection jusqu'à la désignation d'un site, et de garantir la coopération avec les cantons et communes intéressés, ainsi que la participation d'autres milieux intéressés.
- La **deuxième partie** de la procédure du plan sectoriel fixe les différentes étapes de la recherche de sites concrets pour les dépôts profonds.

Coup d'envoi de la procédure du plan sectoriel

Le Conseil fédéral a adopté le **2 avril 2008** la conception générale du plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes». Cette partie du plan sectoriel a été élaborée ces deux dernières années, dans le cadre d'une large procédure de participation incluant autorités fédérales, cantons, Etats voisins, organisations, partis et groupes de population concernés.

Avec la procédure du plan sectoriel, le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) entend parvenir à l'exploitation vers 2005 d'un dépôt pour déchets de faible et de moyenne activité (DFMA) et à celle d'un dépôt pour déchets de haute activité (AC/DHA) vers 2060.



Les points essentiels du plan sectoriel sont les suivants:

- La Confédération prend la direction des opérations en matière de détermination des sites.
- La sécurité à long terme de la population et de l'environnement présentera un caractère de la plus haute priorité lors de la sélection du site. Les impacts en surface des installations – à savoir les aspects socio-économiques et relatifs à l'aménagement du territoire – seront également pris en considération.
- Les coûts seront financés par les producteurs des déchets.

Choix de sites en trois étapes

L'**étape 1** est consacrée à l'identification de régions de site appropriées du point de vue géologique. La Confédération vérifie lors de cette étape si les domaines d'implantation proposés par la Nagra satisfont aux critères requis pour une sûreté à long terme. C'est à la fin de cette première étape que le Conseil fédéral confirme lesdits domaines ou qu'il n'en retient que certains d'entre eux.

Dans le cadre de l'**étape 2**, les domaines d'implantation ont la possibilité de contribuer à la concrétisation des projets de dépôts ainsi qu'aux études portant sur les conséquences socio-économiques et relatives à l'aménagement du territoire. Les sites sont aussi comparés entre eux sous l'angle de la sécurité. A l'issue de cette étape, la Nagra propose au moins deux sites d'implantation concrets par catégorie de déchets.

Lors de l'**étape 3**, ces sites font l'objet d'examen approfondis. Selon le DETEC, des recherches relevant des sciences de la terre, y compris des forages, sont nécessaires pour atteindre un niveau de connaissances équivalent pour les différents domaines d'implantation. Avant la présentation de

demandes d'autorisation générale, il faut par ailleurs élaborer les bases relatives à des mesures de compensation et à l'examen des conséquences sociales, économiques et écologiques, et régler la question des indemnités.

Votation populaire éventuelle

Une fois la procédure achevée, le Conseil fédéral procédera à la sélection définitive soit de deux sites – un pour les DFMA et un pour les AC/DHA –, soit d'un seul site pour toutes les catégories de déchets. Après l'octroi de l'autorisation générale par le Conseil fédéral, cette décision devra être approuvée par le Parlement ou fera éventuellement l'objet d'une votation populaire si un référendum facultatif contre l'autorisation générale aboutit (voir le mot-clé «Procédures d'autorisation des installations nucléaires»).

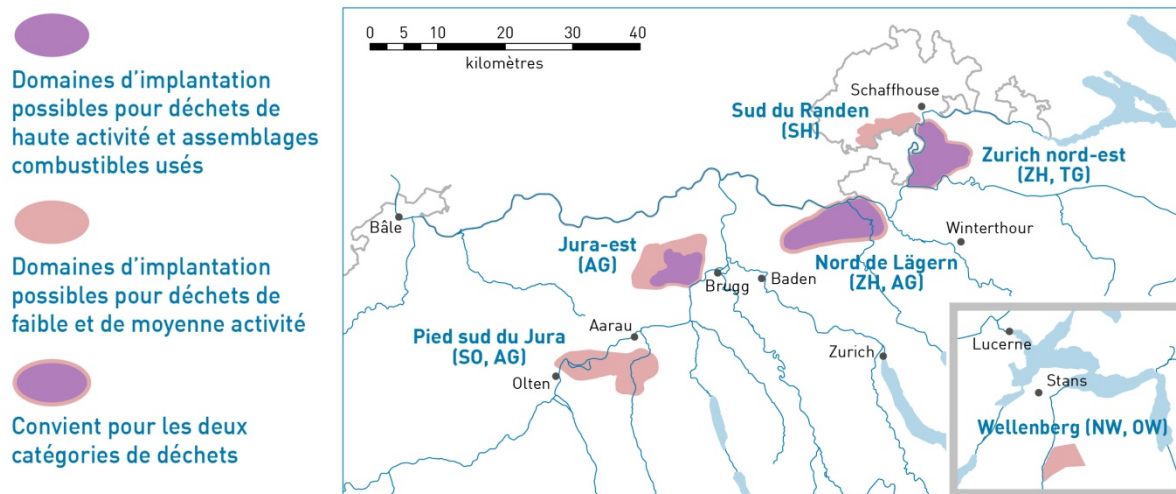
Calendrier de la Confédération pour la mise en service de dépôts en couches géologiques profondes

Action	Durée	Délais
<i>Plan sectoriel et procédure d'autorisation générale</i>		
Plan sectoriel étape 1: Sélection de domaines d'implantation géologiques	3,5 ans	jusqu'au 30 novembre 2011 (décision du Conseil fédéral)
Plan sectoriel étape 2: Sélection d'au moins deux sites d'implantation par catégories de déchets	5 ans	prévue pour 2017
Plan sectoriel étape 3: Sélection d'un site ou de deux sites		
Préparation et dépôt de la/des demande/s d'autorisation générale, procédures de vérification et d'approbation	5 ans env.	
Décision du Conseil fédéral Octroi de l'autorisation générale	1,5 an	① jusqu'en 2027 env.
Approbation de l'autorisation générale par le Parlement	1 an	
Le cas échéant décision du peuple		jusqu'en 2029 env.
<i>Ensuite: procédures d'autorisation de construire et d'exploiter</i>		
Etudes géologiques, autorisation de construire le laboratoire souterrain sur le site d'implantation (l'autorisation peut être contestée devant le Tribunal administratif fédéral puis devant le Tribunal fédéral).	2 à 4 ans	
Etudes complémentaires, construction de galeries d'accès, construction et exploitation du laboratoire souterrain sur le site d'implantation ainsi que procédure d'autorisation de construire un dépôt en couches géologiques profondes (l'autorisation peut être contestée devant le Tribunal administratif fédéral puis devant le Tribunal fédéral)	DFMA: 6 à 8 ans DHA: 16 à 18 ans	
Construction des galeries et cavernes, préparation et octroi de l'autorisation d'exploitation durant la phase de construction (l'autorisation peut être contestée devant le Tribunal administratif fédéral puis devant le Tribunal fédéral)	5 à 7 ans	
Mise en service au plus tôt		DFMA en 2050 env. DHA en 2060 env.

① La durée de cette étape dépendra de la nécessité d'effectuer par exemple d'autres forages.

Etat de la procédure du plan sectoriel

La mise en œuvre de **l'étape 2** se déroule actuellement. L'Office fédéral de l'énergie a divulgué le 6 novembre 2008 les domaines d'implantation potentiels proposés par la Nagra pour l'aménagement de dépôts en couches géologiques profondes. Les propositions de la Nagra ont été déterminées uniquement sur la base des propriétés géologiques de l'endroit, selon les modalités prescrites par la Confédération dans le plan sectoriel.



Domaines d'implantation proposés par la Nagra pour des dépôts géologiques en profondeur. (Source: Nagra)

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) a publié son rapport d'expertise le 26 février 2010 sur les six domaines d'implantation proposés par la Nagra. L'IFSN y dresse le bilan suivant: les analyses de la Nagra sont correctes et compréhensibles; les données de base géologiques sont présentées de manière complète et sont bien documentées; la Nagra a dûment pris en considération les informations pertinentes requises pour la sélection des domaines d'implantation; elle a tenu compte à bon escient de tous les critères préliminaires prescrits dans le plan sectoriel.

La Commission pour la gestion des déchets radioactifs (CGD) – mise en place par la Confédération, la CGD est un organe constitué d'experts scientifiques indépendants sur les questions nucléaires – certifie elle aussi que la Nagra a fourni du bon travail. Dans son avis, la CGD soulève toutefois certaines questions relatives à la technique de construction, questions restées en suspens auxquelles il conviendra de répondre lors des prochaines étapes.

Dans sa prise de position publiée le 6 mai 2010, la Commission fédérale de sécurité nucléaire (CSN), instituée elle aussi par la Confédération, atteste que l'IFSN a examiné en détail le travail de la Nagra, qu'elle a par ailleurs procédé à ses propres calculs et investigations et qu'elle s'est assuré le concours d'experts externes. La CSN adhère aux conclusions du rapport d'expertise de l'IFSN et donne son aval aux domaines d'implantation géologiques proposés par la Nagra. La commission a par ailleurs fait quelques recommandations pour la suite.

Constitué par le ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sûreté nucléaire (BMU) afin d'assurer le suivi de la procédure de sélection de sites en Suisse, le groupe d'experts allemand ESchT (Expertengruppe–Schweizer Tiefenlager) aboutit à la même conclusion favorable.

Ces différents avis montrent que tous les experts engagés, y compris ceux de la Nagra, concordent largement dans leur évaluation des domaines d'implantation sous l'angle de la technique de sécurité.

La CSN ayant rendu son avis, on dispose désormais de la dernière évaluation des autorités sur la sécurité technique des domaines d'implantation proposés par la Nagra.

Le Conseil fédéral a approuvé le 1^{er} décembre 2011 l'ensemble des domaines d'implantation proposés par la Nagra, suite à quoi l'étape 2 de la procédure du plan sectoriel avait pu être lancée.

Au cours de cette deuxième étape, la Nagra a soumis le 20 janvier 2012 des propositions d'emplacements pour les installations de surface (sites d'implantation) dans chacun des six domaines d'implantation. Les 20 propositions ont fait l'objet de discussions poussées dans le cadre de conférences régionales, discussions auxquelles les cantons étaient également invités à participer, bien que cela ne fût pas prévu initialement par la procédure du plan sectoriel. Les cantons et les conférences régionales ont établi leur propre catalogue de critères et défini sur cette base les sites adaptés pour accueillir une installation de surface. L'objectif était que les conférences régionales définissent en accord avec la Nagra au moins un site par région d'implantation. Entre-temps, toutes les six régions se sont prononcées.

Par la suite, la Nagra remettra un rapport sur la limitation de la sélection après qu'une comparaison des domaines d'implantation sur le plan de la sécurité aura été effectuée. La procédure du plan sectoriel prévoit qu'au cours de l'étape 3, au moins deux sites soient proposés par catégorie de déchets (déchets faiblement et moyennement radioactifs, déchets hautement radioactifs). Pour finir, le Conseil fédéral se prononcera sur le rapport sur la limitation de la sélection.

Financement de la gestion des déchets nucléaires

Les coûts de l'évacuation des déchets radioactifs, du démantèlement ultérieur des centrales nucléaires suisses et de la restitution des champs à leur état d'origine sont inclus dans le prix de l'électricité. Les montants nécessaires pour cela sont régulièrement mis de côté par les exploitants, de sorte à disposer après 50 ans d'exploitation des moyens voulus.

Conformément aux derniers comptes des exploitants des centrales nucléaires, approuvés par les autorités de surveillance de la Confédération en novembre 2012, les coûts s'élèvent pour toutes les centrales suisses à 20,7 milliards de francs (16 milliards pour l'évacuation, plus 4,7 milliards pour le démantèlement). Cette somme comprend aussi les coûts pour le scellement des dépôts géologiques profonds et la phase de surveillance qui suivra et s'étendra sur 50 ans.

Pour le retraitement, les travaux de recherche et de préparation de la Nagra, la construction et l'exploitation de Zwilag, etc., les coûts avaient atteint fin 2013 quelque 5,2 milliards de francs. Ces coûts ont été et seront encore directement équilibrés par les exploitants jusqu'à la mise hors service des centrales nucléaires.

Pour couvrir les coûts restants après le démantèlement, les exploitants cotisent également à deux fonds, jusqu'à la mise hors service des centrales nucléaires: le fonds d'évacuation et le fonds de désaffectation. Le montant de ces deux fonds placés sous la surveillance de la Confédération s'élevait fin 2013 à environ 5,3 milliards de francs, ce qui correspond aux valeurs exigées par la loi.

En termes de prix de l'électricité, les coûts d'évacuation et de désaffectation s'élèvent actuellement en moyenne à environ un centime par kilowatt heure d'électricité d'origine nucléaire. Par cette application systématique du principe de causalité, les générations à venir ne seront pas confrontées à des coûts non couverts. Le besoin de financement de l'évacuation et du démantèlement est régulièrement contrôlé. A partir de janvier 2015, la Confédération percevra un supplément de sécurité à hauteur de 30% des coûts calculés.