ROCK SOLID?
LE PROBLÈME NON RÉSOLU DES DÉCHETS NUCLÉAIRES

Les enjeux et les risques liés au stockage géologique en profondeur des déchets hautement radioactifs.

GREENPEACE

Table des matières

Introduction **3**

Rock Solid? **4**
Le projet de la Nagra pour le stockage en couches géologiques profondes en Suisse 4

Stockage en profondeur en Suisse: de nombreuses questions sans réponses. **5**
Toute intervention est une perturbation 5
Conséquences du dégagement de chaleur 5
Corrosion des conteneurs en acier 5
Une géologie perturbée 5
Autres facteurs 6
Des modèles insuffisants 6
Doutes sur le principe des barrières multiples 6
La sécurité du dépôt n’est pas garantie 6

D’autres solutions de stockage n’ont pas encore été examinées **7**
Stockage à sec 7
Forages extrêmement profonds 7
Mise en garde contre une décision précipitée 7

Politique énergétique suisse: des doutes quant au projet de stockage en profondeur **8**
La démonstration de faisabilité doit être remise en question 8
Nos demandes 8

Introduction

En 2010, Greenpeace Suisse publiait pour la première fois une étude présentant les questions en suspens et les problèmes non résolus relatifs au stockage en couches géologiques profondes des déchets hautement radioactifs (DHR) provenant des centrales nucléaires. Aujourd'hui, quinze ans plus tard, une étude actualisée est publiée. Cette revue de littérature, commandée par Greenpeace Suisse et intitulée «Rock Solid? A scientific review of geological disposal of high-level radioactive waste» (ci-après «le rapport»), résume l'état actuel des connaissances scientifiques sur cette question.

Auteure

Dre Helen Wallace est titulaire d'un diplôme en physique de l'université de Bristol et d'un doctorat en mathématiques appliquées de l'université d'Exeter. Outre ses fonctions de directrice de GeneWatch, une organisation à but non lucratif qui milite pour une utilisation de la génétique et du génie génétique au service de l'intérêt général, elle a rédigé plusieurs rapports sur des thèmes liés aux déchets nucléaires.

Révision

Dr Johan Swahn occupait jusqu'à la fin de l'année 2023 le poste de directeur de MKG, une ONG basée à Göteborg, en Suède, qui surveille les déchets nucléaires. L'essentiel de son activité consistait à participer aux procédures d'examen des licences pour le projet suédois de construction d'un dépôt nucléaire en couches géologiques profondes. Johan Swahn continue d'exercer les fonctions de conseiller principal auprès de MKG. Il a dirigé les travaux de l'organisation européenne Nuclear Transparency Watch (NTW) dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs et est membre du Panel international sur les matières fissiles (IPFM).

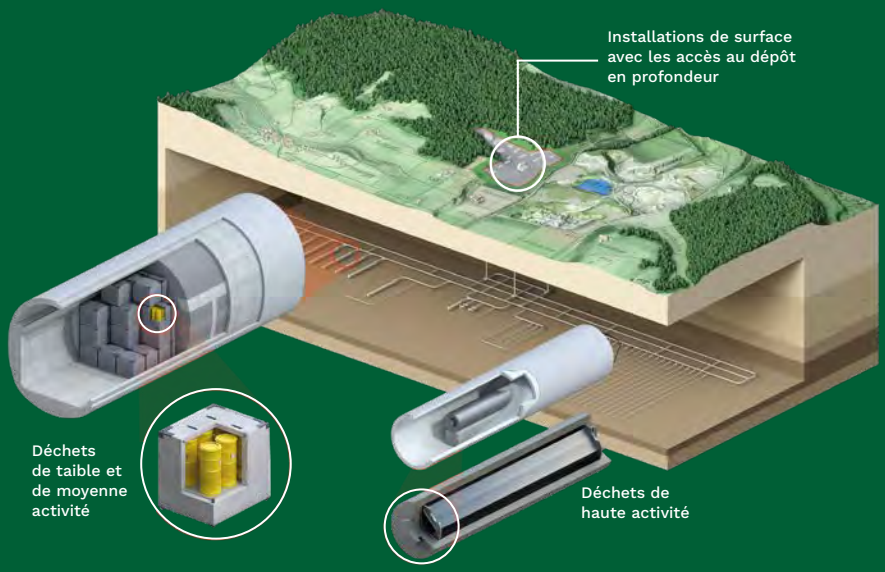
Lien vers le rapport

Rock Solid?

La première centrale nucléaire commerciale au monde a été mise en service dans les années 1950. Depuis, la planète est confrontée au problème de l'élimination des déchets hautement radioactifs (DHR), dont le volume atteint aujourd'hui plusieurs milliers de tonnes par an à l'échelle mondiale. La Suisse fait partie des pays producteurs de déchets nucléaires depuis les années 1960. Que faire de ces déchets hautement toxiques? À ce jour, cette question reste sans réponse. Il n'existe en effet toujours pas de solution sûre à long terme pour l'élimination de ces déchets, qui doivent être stockés en toute sécurité pendant un million d'années. C'est ce qui ressort clairement de l'analyse de plus de 800 publications scientifiques consacrées au stockage des déchets hautement radioactifs en couches géologiques profondes. Certes, de nombreux processus chimiques et géologiques sont aujourd'hui mieux compris qu'auparavant. Cependant, les connaissances acquises au cours des quinze dernières années ont également mis en évidence de nouvelles incertitudes qui n'ont que peu été prises en compte dans les calculs et modèles actuels concernant les dépôts en profondeur potentiels. En ce qui concerne la Suisse, il existe de sérieux doutes quant à la capacité d'un dépôt en couches géologiques profondes, tel que celui proposé par la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra) dans la région du Nord des Lägern (cantons d'Argovie et de Zurich), à assurer le confinement sûr des DHR pendant un million d'années. Le rapport recommande donc de suspendre la planification en cours des dépôts en profondeur jusqu'à ce que les risques connus puissent être exclus de manière optimale. Il présente également d'autres possibilités de stockage à long terme qui n'ont pas encore été examinées en détail et qui pourraient s'avérer plus adaptées.

Le projet de la Nagra pour le stockage en couches géologiques profondes en Suisse

En Suisse, les déchets hautement radioactifs (DHR) provenant de l'exploitation des centrales nucléaires doivent être stockés dans des conteneurs en acier à parois épaisses, puis enfouis à 900 mètres de profondeur dans une couche d'argile à Opalinus. L'espace entre les conteneurs et la roche hôte doit être comblé avec un matériau de remplissage, probablement de la bentonite, afin d'empêcher les infiltrations d'eau aussi longtemps que possible. Plus la durée pendant laquelle les conteneurs en acier sont protégés contre la corrosion est longue, plus il sera possible d'empêcher la propagation de matières radioactives. Les DHR restent radioactifs pendant un million d'années. La durée de vie prévue d'un dépôt en couches géologiques profondes doit donc également être d'un million d'années.



Avec le temps, des substances radioactives (radionucléides) s'échapperont du site de stockage en profondeur pour se répandre dans les eaux souterraines environnantes ou seront libérées sous forme de gaz radioactif. Selon la Nagra, la sécurité d'un tel dépôt repose sur la capacité de la roche environnante à retenir une partie des radionucléides, tandis que les autres (volatils) seront fortement dilués dans les eaux souterraines, ce qui les rendra inoffensifs. La Nagra estime que ces processus se dérouleront si lentement qu'une grande partie de la radioactivité sera désintégrée avant d'atteindre la surface. L'exposition des générations futures aux rayonnements resterait ainsi très faible.

Stockage en profondeur en Suisse: de nombreuses questions sans réponses.

Plusieurs types de roches sont envisagés pour le stockage des déchets hautement radioactifs (DHR) dans des couches géologiques profondes. Le rapport intitulé «Rock Solid? A scientific review of geological disposal of high-level radioactive waste» présente les conclusions scientifiques des dernières années concernant le stockage des DHR et analyse le stockage en couches géologiques profondes dans l'argile et le granite. Il montre clairement qu'il n'existe aucune solution sûre à long terme pour le stockage des déchets nucléaires, quel que soit le type de roche.

En Suisse, la Nagra prévoit de construire un dépôt en profondeur dans une couche d'argile à Opalinus dans la région du Nord des Lägern (voir l'encadré). Les principaux points du rapport concernant la situation en Suisse sont résumés ci-dessous.

Toute intervention est une perturbation

Il est vrai que la couche d'argile à Opalinus, actuellement considérée par la Nagra comme la roche la plus appropriée pour accueillir le dépôt en couches géologiques profondes en Suisse, a plusieurs dizaines de millions d'années. On pourrait donc supposer qu'elle résistera encore un million d'années. Cependant, le creusement de la galerie dans la roche, l'introduction de matériaux chimiquement très différents et la désintégration radioactive des DHR sur plusieurs centaines de milliers d'années perturberont considérablement la roche hôte, avec des conséquences à long terme qui sont encore mal comprises.

Conséquences du dégagement de chaleur

La désintégration radioactive des DHR se poursuivra à l'intérieur du dépôt en profondeur, exposant ainsi la roche environnante à une source de chaleur. C'est la raison pour laquelle les conteneurs doivent être disposés à une distance suffisante les uns des autres. C'est le seul moyen d'empêcher la température à l'intérieur du dépôt de dépasser 100° C, ce qui augmenterait la perméabilité des minéraux argileux et réduirait considérablement leur effet barrière. Certains éléments indiquent toutefois que cet effet barrière pourrait déjà être affaibli à des températures plus basses. De plus, des études indiquent que, même en respectant une distance suffisante entre les conteneurs, la chaleur pourrait soulever la roche de 10 cm ou plus à la surface de la Terre, environ 1000 à 2000 ans après le stockage des déchets. Un tel déplacement à l'intérieur de la roche hôte pourrait entraîner des fractures et des fissures permettant à l'eau souterraine de s'infiltrer jusqu'au dépôt et de provoquer ainsi des fuites radioactives.

Corrosion des conteneurs en acier

Les DHR provenant des centrales nucléaires suisses doivent être conditionnés dans des conteneurs en acier à parois épaisses. L'espace entre les conteneurs et la roche argileuse doit être remblayé avec de la bentonite (voir l'encadré). Plusieurs problèmes se posent à cet égard. Dans le milieu acide de la roche argileuse, la durée de vie des conteneurs en acier est trop courte pour résister à la longue période pendant laquelle la chaleur intense des DHR peut influencer les processus physiques et chimiques à l'intérieur du dépôt final. Le creusement de tunnels dans la roche argileuse nécessite également d'importantes quantités d'acier ou de béton pour prévenir l'effondrement des galeries. L'eau de ciment qui se forme avec le temps dans le revêtement des galeries, combinée à la chaleur, à la radioactivité et aux microbes, altère la capacité de gonflement de l'argile et de la bentonite, ce qui réduit leur capacité à protéger les conteneurs contre les contraintes exercées par la roche située au-dessus et à retarder la libération de radionucléides. De plus, on ignore encore si le remblai de bentonite et la roche environnante résisteront au volume important d'hydrogène gazeux produit par la corrosion de l'acier.

Une géologie perturbée

La chaleur et les rayonnements émis par les DHR ainsi que les altérations et perturbations causées aux roches et aux eaux souterraines lors de la construction du dépôt en profondeur modifient considérablement les caractéristiques du milieu souterrain. Ces modifications se poursuivront pendant 100 000 ans, période au terme de laquelle la géologie devrait retrouver un état stable (sous réserve qu'aucune autre perturbation, telle qu'un tremblement de terre, une glaciation ou une intervention humaine, ne survienne entre-temps). Cependant, même dans ce cas, les dommages causés par le creusement du dépôt et le dégagement de chaleur et de gaz persisteront et pourraient entraîner des fuites d'eau et de gaz radioactifs. Il a par exemple été démontré que la perméabilité de l'argile fracturée à température ambiante est, après une «auto-cicatrisation», deux fois plus importante. Cet effet critique est encore renforcé à des températures plus élevées (80° C).

Autres facteurs

Des découvertes récentes confirment les craintes que le développement de chaleur dans le dépôt en profondeur puisse réactiver des failles dormantes depuis longtemps, provoquant ainsi des secousses sismiques ou des voies d'échappement rapides pour les radionucléides. La réactivation de failles par la chaleur pourrait se produire dès les 1000 premières années. De futures périodes de glaciation pourraient également influencer les failles dans la zone du dépôt en profondeur, même si la calotte glaciaire se trouve à une certaine distance du site prévu pour le dépôt. (Au moins six périodes glaciaires importantes ont eu lieu au cours du dernier million d'années.) Par ailleurs, le rôle des bactéries et des champignons souterrains dans les réactions chimiques critiques n'est pas encore entièrement compris. Des effets chimiques mal connus, tels que la formation de colloïdes, pourraient accélérer le transport de certains éléments radiotoxiques comme le plutonium.

Des modèles insuffisants

Bien que les modèles informatiques utilisés pour simuler les phénomènes qui se produisent dans la roche soient de plus en plus sophistiqués, il reste difficile de prédire sur le long terme les réactions (géo)chimiques pertinentes et les processus complexes qui y sont liés. Il s'agit notamment des effets de la chaleur, de la déformation mécanique, de l'influence des microbes, des changements chimiques et des flux couplés de gaz et d'eau à travers des couches d'argile hétérogènes et fracturées. Les résultats fournis par ces modèles dépendent donc des hypothèses retenues et de la façon dont les conditions initiales sont définies. Une étude visant à contrôler les modèles d'estimation du flux de radionucléides à travers des couches rocheuses fracturées a permis d'identifier les facteurs d'incertitude suivants:

- la complexité inhérente aux formations fracturées;
- le manque de fiabilité des paramètres;
- le volume colossal de données;
- le cadre théorique et mathématique;
- les incertitudes liées aux fondements multidisciplinaires;
- le manque de clarté des scénarios dans lesquels un système est susceptible d'être exploité.

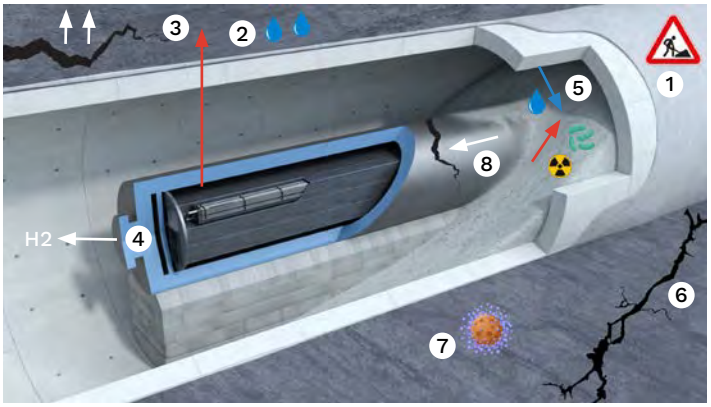
Pour le dire simplement, la pertinence des modèles actuels est surestimée.

Doutes sur le principe des barrières multiples

Les dépôts en couches géologiques profondes sont fondés sur le «principe des barrières multiples», qui suppose que chaque barrière – conteneur de déchets, matériau de remblayage et roche hôte – agit de manière indépendante pour confiner les DHR. Cependant, les processus induits par ces différentes barrières peuvent interagir entre eux et compromettre ce principe de plusieurs façons. La corrosion des conteneurs et des déchets, par exemple, génère des gaz qui peuvent endommager la barrière de bentonite et la roche environnante, et transporter des radionucléides vers la surface. Les changements minéraux de la bentonite provoqués par la chaleur, les microbes ou l'eau de ciment peuvent réduire son efficacité à protéger les conteneurs contre la corrosion ou les dommages causés par les fortes tensions dans la roche environnante. De plus, d'autres produits issus de la corrosion des conteneurs en acier peuvent affecter le rôle de tampon de la bentonite et accélérer la fuite des radionucléides. Une étude chinoise a conclu de manière préoccupante pour la Suisse que les conteneurs en acier ne sont pas adaptés à un dépôt en couches géologiques profondes.

La sécurité du dépôt n'est pas garantie

Compte tenu des incertitudes multiples, dont certaines se renforcent mutuellement, le modèle suisse actuel de stockage des DHR ne permet pas d'exclure totalement le risque de fuites de radioactivité susceptibles d'avoir des conséquences sur la santé. Le rapport met donc en garde contre toute décision hâtive.



Représentation graphique des processus insuffisamment pris en compte jusqu'à présent, qui pourraient entraîner une augmentation rapide des rejets radioactifs dans les eaux souterraines et l'environnement.

1 Toute intervention perturbe la géologie
2 La chaleur dégagée par la désintégration réduit l'effet barrière de la roche argileuse
3 La chaleur dégagée par la désintégration soulève la roche sus-jacente et peut créer des fractures et des fissures
4 Les conteneurs en acier se corrodent et libèrent de l'hydrogène
5 L'eau de cimentation (associée à la chaleur, à la radioactivité et aux microbes) altère la capacité de gonflement de la roche argileuse et de la bentonite
6 Les failles dormantes peuvent être réactivées
7 Les colloïdes peuvent accélérer le transport des radionucléides
8 Les modifications minérales de la bentonite altèrent son effet protecteur contre les tensions dans la roche

D’autres solutions de stockage n’ont pas encore été examinées

Étant donné les incertitudes importantes qui pèsent sur le stockage en profondeur des DHR provenant des centrales nucléaires dans la région du Nord des Lägern, le rapport présente brièvement d’autres solutions de stockage.

Stockage à sec
À l’instar de ce qui se pratique déjà à Würenlingen, le stockage à sec en surface offre une solution relativement sûre pour stocker provisoirement les DHR pendant une période d’un siècle ou plus. Grâce au refroidissement passif, cette solution est peu coûteuse et permettrait de gagner du temps pour trouver une meilleure solution de stockage à long terme. De plus, la chaleur dégagée par les déchets diminue avec le temps, ce qui pourrait faciliter le stockage à long terme. Les Pays-Bas ont actuellement opté pour cette solution.

Forages extrêmement profonds
Des forages allant jusqu’à 5000 mètres de profondeur pour le stockage des DHR pourraient présenter plusieurs avantages par rapport au dépôt en couches géologiques profondes actuellement discuté en Suisse. Tout d’abord, la perméabilité de la roche est plusieurs fois moindre à cette profondeur et il existe des zones isolées des eaux souterraines depuis des millions d’années. Ces caractéristiques limiteraient considérablement les risques de fuite de radionucléides. Ensuite, la probabilité que des personnes forent le site de stockage dans un avenir lointain est beaucoup plus faible. Enfin, une distance plus importante entre les différents puits de forage ou conteneurs de stockage permettrait d’éviter une élévation trop importante de la température. Cette méthode pourrait par ailleurs s’avérer plus économique que la construction complexe d’un dépôt en couches géologiques profondes.

Mise en garde contre une décision précipitée
Comme toutes les options de stockage à long terme des déchets radioactifs n’ont pas encore été étudiées et évaluées, le rapport conclut qu’il serait imprudent de se prononcer dès à présent sur une solution définitive.

Partie visible en surface du dépôt en couches géologiques profondes selon les représentations de la Nagra.

Politique énergétique suisse: des doutes quant au projet de stockage en profondeur

Le rapport «Rock Solid? A scientific review of geological disposal of high-level radioactive waste» montre que les modèles et calculs actuels ne sont pas à la hauteur de la tâche complexe qui consiste à maintenir les DHR à l'écart des êtres humains et de l'environnement pendant un million d'années. De nombreuses questions fondamentales concernant le stockage des DHR en couches géologiques profondes restent sans réponse.

Le rapport souligne notamment que le modèle suisse de stockage en profondeur dans des roches argileuses est sujet à de sérieux doutes. L'analyse de plus de 800 articles scientifiques publiés dans des revues spécialisées reconnues met en évidence une série de scénarios dans lesquels un stockage en couches géologiques profondes pourrait entraîner des rejets importants de radioactivité, avec de graves conséquences pour la santé et la sécurité des générations futures. Les dangers décrits dans le rapport et les lacunes manifestes dans les connaissances montrent que les exigences de sécurité pour le stockage en profondeur des DHR dans le Nord du Lägern ne sont pas remplies actuellement.

Il est d'autant plus déconcertant de constater avec quelle assurance les spécialistes favorables au nucléaire défendent la sécurité du plan suisse de dépôt en couches géologiques profondes. Cette attitude donne l'impression que la Confédération souhaite présenter au plus vite un plan définitif à la population pour des raisons financières et politiques.

La démonstration de faisabilité doit être remise en question

La faisabilité scientifique et technique du stockage sûr à long terme des déchets est une obligation légale, tant pour la construction d'une nouvelle centrale nucléaire que pour la poursuite de l'exploitation des réacteurs existants (art. 13, let. d, et 106, al. 2, de la loi du 21 mars 2003 sur l'énergie nucléaire). En 2002, la Nagra a présenté la démonstration de la faisabilité du stockage des DHR dans l'argile à Opalinus du Weinland zurichois.

En 2006, le Conseil fédéral a approuvé la démonstration de faisabilité présentée par la Nagra. On peut toutefois supposer que cette approbation était une décision purement politique visant à permettre la poursuite de l'exploitation des centrales nucléaires existantes et à ouvrir la voie à la construction de nouveaux réacteurs. En effet, près de vingt ans plus tard, les données scientifiques exposées dans le rapport montrent clairement que la faisabilité scientifique et technique du stockage à long terme des DHR dans un dépôt en profondeur dans de l'argile n'est pas acquise. Au vu de l'état actuel des connaissances scientifiques, la poursuite de l'exploitation des centrales nucléaires existantes, et surtout la discussion sur la construction éventuelle d'une nouvelle centrale, ne sont pas recevables. Il n'existe à l'heure actuelle aucune solution sûre à long terme pour l'élimination des déchets nucléaires dans le monde.

Nos demandes

Sur la base des conclusions du rapport, Greenpeace Suisse formule les demandes suivantes à l'attention de la Confédération:

- L'élaboration et la définition d'un plan suisse de gestion des DHR doivent être suspendues jusqu'à ce que toutes les questions en suspens concernant la libération (trop rapide) de radionucléides soient complètement clarifiées. Tant que l'efficacité des mesures de protection prévues n'est pas entièrement garantie, il serait non seulement inopportun, mais aussi irresponsable de poursuivre la planification et la réalisation du dépôt en couches géologiques profondes proposé par la Nagra dans la région du Nord des Lägern.
- Tant qu'il n'existe pas de solution éprouvée pour un stockage sûr, la production de déchets nucléaires doit être interrompue. Pour cette seule raison, le débat sur de nouvelles centrales nucléaires est inopportun.
- Le Conseil fédéral doit retirer la démonstration de faisabilité. Il faut également planifier de manière contraignante la mise hors service des centrales nucléaires existantes afin d'éviter la production de nouveaux DHR.

Avec un fût de déchets radioactifs géant installé dans les gorges du Rhin, des militants Greenpeace attirent l'attention sur le problème non résolu des déchets radioactifs.

GREENPEACE

Impressum

Rock Solid? Le problème non résolu des déchets nucléaires
Greenpeace Suisse, novembre 2025

La fiche d'information se fonde sur les conclusions scientifiques du rapport «Rock solid? A scientific review of geological disposal of high-level radioactive waste» d'Helen Wallace, GeneWatch, Royaume-Uni, novembre 2025.

Auteurs: Nathan Solothurnmann, Florian Kasser

Corrections: Yvonne Anliker

Traduction française: Marc Rüegger

Mise en page: Melanie Cadisch

Photos: © Marc Meier / Greenpeace (Cover, p. 9), Nagra (p. 4+7), Nagra und Greenpeace (p. 6)

Greenpeace Suisse, Badenerstrasse 171, Case postale 9320, CH-8036 Zurich
suisse@greenpeace.org

Greenpeace finance son action en faveur de l'environnement exclusivement par des dons de particuliers et de fondations. greenpeace.ch/fr/agir/dons
Compte pour les dons: IBAN CH07 0900 0000 8000 6222 8