

‘Le choix d’un site d’un stockage géologique en profondeur de déchets de haute radioactivité et de longue durée de vie’

Introduction

La recherche d’un site pour un stockage géologique de déchets radioactifs est un défi complexe qui nécessite de combiner des critères scientifiques, la faisabilité technique et aussi la participation de la société. Le succès d’un tel stockage géologique dépend de nombreux facteurs, dont le soutien de la population et des communautés locales, l’intégrité de la roche hôte choisie et des barrières artificielles destinées à confiner les déchets radioactifs, les processus géologiques à long terme et l’utilisation de l’espace en surface et dans le sous-sol.

La géologie, le facteur décisif

La sécurité d’un stockage géologique de déchets radioactifs repose sur trois grands principes :

- isoler les déchets de l’homme et de l’environnement en les enfouissant en profondeur,
- les confiner le plus longtemps possible dans des barrières conçues par l’homme,
- retarder encore la dissémination à très long terme de substances radioactives grâce aux propriétés de la roche hôte qui fait office de barrière naturelle.

Il ne faut donc pas sous-estimer l’importance des propriétés et des processus géologiques locaux dans la recherche d’un site pour stocker en profondeur des déchets radioactifs. L’intégration des connaissances géologiques dans le processus décisionnel menant à ce choix doit permettre de minimiser les risques et l’impact potentiel à long terme sur l’environnement et la santé humaine. Ces caractéristiques géologiques spécifiques incluent entre autres :

- **Les propriétés de la roche hôte** – La roche hôte doit constituer une barrière naturelle durable autour des matières radioactives. L’un des critères géologiques cruciaux est sa faible perméabilité à l’eau, car les mouvements de l’eau et le transport des substances dissoutes sont les principaux vecteurs de diffusion de la radioactivité des déchets dans l’environnement.

Ce qui est aussi important, c’est la capacité de la roche hôte à confiner efficacement les particules radioactives pendant des périodes géologiquement significatives parce que, même si elles sont conçues pour durer plusieurs milliers d’années, les barrières créées par l’homme, telles que les superconteneurs et les caissons en béton, finiront par céder.

- **Argile, granite, sel** – L’AIEA recommande pour le stockage des roches telles que l’argile, le granit et le sel. Ces roches sont appréciées pour leur capacité à isoler des substances dangereuses et à ralentir considérablement la diffusion des éléments radioactifs. Toutefois, cela ne signifie pas que toutes les roches sont égales. Chaque type de roche hôte présente des caractéristiques et des défis qui lui sont propres.
- **Stabilité géologique** – La stabilité géologique à long terme est également une exigence prioritaire. Des processus géologiques naturels dynamiques ou des incidents géologiques ne peuvent pas affecter l’intégrité du stockage. Cela signifie que les régions qui connaissent de graves tremblements de terre, une activité volcanique ou un risque de glissements tectoniques ne conviennent pas à la construction d’un stockage géologique, qui doit rester suffisamment sûr pendant une période allant jusqu’à un million d’années.
- **Le mythe de la profondeur** – Un stockage plus profond n’offre pas nécessairement plus de sécurité. Ce qui importe, plus que la profondeur, c’est l’intégrité et l’épaisseur de la couche géologique dans laquelle est creusé le stockage. Les stockages plus profonds entraînent des complications techniques et des coûts qui ne sont pas toujours compensés par des avantages potentiels sur le plan de la sécurité. Ceux-ci doivent être mis en balance avec le risque accru d’accidents pendant la construction et avec le coût plus élevé pour la société.
D’autre part, une personne interviewée souligne qu’en Belgique s’est développée l’idée selon laquelle un stockage géologique ne peut être sûr qu’à partir d’une certaine profondeur. Un stockage moins profond peut se heurter à l’incompréhension de la société, bien qu’il n’y ait pas forcément d’arguments scientifiques et techniques contre lui. Cela pourrait devenir un enjeu de débat.
- **Résistant au changement climatique** – Le changement climatique provoquera une élévation du niveau de la mer et pourra donc affecter la pression hydraulique à l’intérieur des terres, ce qui peut modifier le risque de pénétration de l’eau dans un stockage géologique de déchets radioactifs. Ce problème devrait cependant être minime si on choisit une roche hôte appropriée.

Concurrence pour le sol et le sous-sol

Un stockage géologique de déchets de haute radioactivité et de longue durée de vie accapare à tout jamais une partie du sous-sol. Cette partie ne pourra plus jamais être utilisée à d’autres fins. Comme l’espace souterrain utile et utilisable est également limité en Belgique, nous devons le gérer le plus efficacement possible. Autrement dit, il y a une concurrence pour l’utilisation du sous-sol. C’est pourquoi il est important de s’efforcer de limiter au maximum l’empreinte de l’installation de stockage.

- **Un sous-sol mis sous pression** – Le sous-sol joue un rôle essentiel pour relever les défis touchant au climat, à l’énergie, à l’eau et aux ressources. Cela concerne son utilisation pour des énergies renouvelables comme l’énergie géothermique, les réserves de gaz (gaz naturel, mais aussi potentiellement hydrogène et CO₂), le stockage thermique, l’extraction de matières premières minérales, etc. Il faudra procéder à un arbitrage

soigneux entre ces applications potentiellement concurrentes au moment de déterminer des sites pour le stockage géologique de déchets radioactifs. De plus, la protection des sources d'eau est un souci majeur en raison de la pression accrue à laquelle elles sont exposées. La contamination de réservoirs d'eau locaux par des éléments radioactifs a de graves conséquences qui dépassent l'environnement immédiat et affectent toute la région.

- **La réglementation relative au sous-sol** – En Belgique, la compétence relative au sous-sol est soumise à une réglementation complexe, avec une répartition basée sur l'utilisation et non sur la profondeur, comme on le suggère souvent à tort. Cela signifie que les régions sont entièrement compétentes pour toutes les applications dans le sous-sol, à l'exception de tout ce qui touche au cycle du combustible nucléaire (y compris donc la gestion des déchets radioactifs) et aux grandes structures de stockage de gaz, qui relèvent de la compétence fédérale.
- **Le stockage géologique : une pomme de discorde potentielle pour les visions fédérales, régionales et locales de l'utilisation de l'espace** – Comme l'ensemble du cycle du combustible nucléaire relève de la compétence fédérale, l'installation souterraine de stockage géologique devra se conformer à la (future ?) législation fédérale, tout comme pour le stockage géologique de gaz. En tout cas, la réglementation régionale relative au sous-sol – comme, par exemple, le décret flamand sur le sous-sol profond – ne s'applique pas au stockage géologique des déchets radioactifs, même s'il devait être réalisé à plus de 500 m de profondeur. MAIS, en ce qui concerne les aspects environnementaux (à l'exception des rayonnements ionisants), le demandeur doit bel et bien s'adresser aux Régions. Pour la Flandre, ces règles sont définies dans le Règlement flamand relatif au permis d'environnement, mieux connu sous l'acronyme 'VLAREM' (Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning). En Wallonie, il existe le Code de l'environnement et, dans le cadre de ce code, le Décret relatif aux permis d'environnement' traite de questions similaires à celles du VLAREM. À Bruxelles, l'Ordonnance relative aux permis d'environnement/' Ordonnantie betreffende de milieuvergunningen' remplit une fonction similaire.
- **Des recherches géologiques exploratoires plus larges et des visions intégrées** – Compte tenu de la complexité et du caractère quasiment éternel d'un stockage géologique, il est souhaitable de mettre en place un cadre de recherche géologique sur l'utilisation potentiellement plus large du sous-sol et les effets à long terme d'un stockage sur d'autres usages utiles de ce sous-sol, y compris l'impact sur les zones aquifères. Il convient aussi de consulter largement toutes les parties prenantes afin de garantir la sécurité et de mener une politique d'aménagement du territoire qui assure une utilisation efficace de l'espace souterrain pour les générations actuelles et futures.

En guise d'inspiration : le cas de la Suisse – 13 critères répartis en 4 groupes pour évaluer les sites appropriés pour un stockage en profondeur de déchets radioactifs

En Suisse, un Plan de secteur – un outil d'aménagement du territoire – constitue l'épine dorsale du processus de sélection d'un site pour un stockage en profondeur de déchets radioactifs. L'approche de la Nagra, la société suisse de gestion des déchets, a consisté à passer méthodiquement le pays au crible à partir d'une 'carte vierge' de la Suisse, basée sur 13 critères prédéfinis, afin de garantir une sélection neutre et objective.

Le tableau ci-dessous résume les critères les plus importants pour évaluer les propriétés locales de la roche hôte potentielle et d'autres propriétés de l'environnement souterrain. Les critères du **groupe 1** se concentrent sur les propriétés de confinement de la roche hôte et de la zone environnante. Les critères du **groupe 2** veillent à ce que ces propriétés de confinement soient conservées pendant la durée nécessaire. Le **groupe 3** évalue la fiabilité des données géologiques, en particulier à la lumière de la caractérisation de la roche hôte, de l'étude de l'espace souterrain réalisée et des prévisions concernant les conditions géologiques futures. Quant au **groupe 4**, il porte sur la question de savoir si la roche hôte et le sous-sol environnant se prêtent au creusement d'un stockage final.

Criteria for site evaluation from the viewpoint of safety and technical feasibility

Criteria group	Criteria
1. Properties of the host rock and the effective containment zone	1.1 Spatial extent 1.2 Hydraulic barrier effect 1.3 Geochemical conditions 1.4 Release pathways
2. Long-term stability	2.1 Stability of the site and rock properties 2.2 Erosion 2.3 Repository-induced influences 2.4 Conflicts of use
3. Reliability of geological findings	3.1 Ease of characterisation of the rock 3.2 Explorability of spatial conditions 3.3 Predictability of long-term changes
4. Engineering suitability	4.1 Rock mechanical properties and conditions 4.2 Underground access and drainage

En 2008, six régions ont été proposées sur la base de ces 13 critères pour faire l'objet d'une étude plus approfondie. Après une recherche comparative (incluant des recherches sismiques), trois régions sont restées en lice en 2018 : Jura Ost, Nördlich Lägern et Zurich Nordost. À l'issue d'autres recherches 'approfondies', y compris des forages exploratoires, la Nagra a annoncé en septembre 2022 qu'elle introduirait une demande générale de permis pour le site de Nördlich Lägern, qu'elle considère comme la région la plus appropriée.

Parallèlement à cette 'procédure technique de choix du site', l'Office fédéral suisse de l'Énergie a organisé la participation régionale au processus décisionnel au travers de 'conférences régionales', auxquelles ont aussi participé des représentants allemands (plus de précisions à ce sujet dans un chapitre suivant).

Source : Swiss Federal Office of Energy (SFOE), Sectoral Plan for Deep Geological Repositories, Conceptual Part, 2 April 2008, pag. 40 et suivantes. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/supply/nuclear-energy/radioactive-waste/deep-geological-repositories-sectoral-plan.html/>

Suivre la géologie et les préférences de la société

L'objectif d'un stockage géologique est de créer un système de sécurité passif qui nécessite un minimum d'entretien, mais qui laisse en même temps la possibilité de récupérer à l'avenir certaines catégories de déchets pendant la phase d'exploitation ou de monitoring si de nouvelles technologies ou des changements dans les préférences sociétales donnent l'occasion de le faire. L'approche actuelle vise donc à répondre à des normes internationales et nationales strictes de gestion des déchets radioactifs, mais fait aussi l'objet d'un contrôle et d'une amélioration continue afin de garantir la sécurité sur une longue période.

- **Des barrières conçues pour être adaptées à la géologie** – Diverses stratégies, adaptées à la roche hôte choisie, au lieu et à la nature de déchets, sont utilisées dans le monde pour stocker les déchets radioactifs. Chacune de ces roches hôtes, de l'argile aux roches granitiques et salines, a ses propriétés spécifiques, qui peuvent même varier d'un site à l'autre. Le choix de la roche hôte et de l'emplacement du stockage géologique doit donc précéder la conception de l'installation ainsi que le choix des barrières 'artificielles' – créées par l'homme – qui confineront les déchets. Pour protéger les déchets à court et à moyen terme, ils sont encapsulés dans différents types de fûts et 'd'overpacks' (suremballages). La nature et la durée de vie prévue de ces barrières artificielles varient selon les types de déchets, mais sont également adaptées aux propriétés locales de la roche hôte dans laquelle le stockage est creusé.
- **Approche systémique** – La sécurité à long terme d'un stockage géologique doit être assurée par le 'système dans son ensemble', c'est-à-dire par l'interaction entre les barrières conçues par l'homme, la conception du stockage et les propriétés naturelles de la roche hôte.
- **Une installation nucléaire de classe I** – Un stockage géologique de déchets de haute radioactivité et de longue durée de vie est catégorisé comme une installation nucléaire de 'classe I', qui requiert les mesures de sécurité les plus strictes. Cela signifie que la conception, la construction, la gestion opérationnelle et la fermeture finale du site sont étroitement réglementées et contrôlées par les autorités de sûreté. Un dialogue permanent est donc nécessaire entre l'exploitant et les autorités belges de sûreté pour garantir tous les aspects de la sécurité pendant la construction, la phase d'exploitation et surtout à long terme. Cette coopération est cruciale pour obtenir l'implication de la société et la confiance dans la sécurité de l'installation.

Un projet participatif de société

Pour déterminer les sites appropriés pour des installations de stockage à long terme de déchets radioactifs, les gouvernements nationaux en Europe ont initialement opté pour une stratégie 'top-down' dominée par des experts pour communiquer et mettre en œuvre leur politique (la stratégie dite DAD pour 'décider-annoncer-défendre')¹.

¹ Arentsen M, van Est, R. The Future of Radioactive Waste Governance. Lessons from Europe. 2023. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-40496-3>

En Finlande, cette stratégie n'a été contestée que dans une faible mesure par la société civile. Une culture politique de recherche du consensus ainsi que la confiance du public dans la science et les experts y ont facilité le processus décisionnel sur le stockage final. Mais dans la plupart des autres pays européens, la société s'est opposée à ces processus d'implantation.

Face à cette résistance sociale, la plupart des pays ont commencé à chercher une manière plus ouverte, inclusive, transparente et participative d'interagir avec la société civile. Cela a débouché sur la stratégie dite EDD (Engager-Délibérer-Décider). Dans le cadre de cette nouvelle approche, la relation entre l'État et la société n'est plus décrite en termes de pouvoir 'sur', mais plutôt en termes de cocréation et de 'pouvoir avec'. Cela s'applique aussi à la relation entre le domaine de la science et de la technologie et celui de la société civile.

'Présents pour le futur' s'est entretenu avec des représentants de quelques 'pays modèles' sur la manière dont ils tentent d'appliquer cette nouvelle stratégie.

Le cas de la Suède

L'exemple suédois montre la nécessité d'un processus participatif solide en matière de gestion des déchets nucléaires, dans lequel le rôle de la transparence de la gouvernance et la possibilité d'une contre-expertise sont essentiels pour créer un cadre décisionnel largement soutenu.

D'un contrôle faible à un contrôle fort

En vertu de la loi suédoise sur les activités nucléaires de 1983, la responsabilité de la gestion et du stockage final des déchets nucléaires incombe à l'industrie, en l'occurrence à la SKB, la Société suédoise de gestion des déchets nucléaires. La SKB doit soumettre tous les trois ans des 'rapports Fud', qui contiennent des informations sur les recherches actuelles et futures. Le gouvernement examine ces rapports et peut imposer des exigences en matière de recherche et de développement. Mais le processus se réfère à l'industrie elle-même pour résoudre les problèmes, ce qui a conduit certaines parties prenantes à le qualifier de processus 'faible' qui laisse beaucoup trop de liberté d'action à l'industrie.

La loi suédoise sur l'environnement de 1998 a introduit des exigences supplémentaires pour les rapports d'incidence sur l'environnement, notamment l'obligation d'envisager des alternatives à l'activité proposée. Le principe de précaution et une connaissance suffisante des incidences possibles sur l'environnement sont essentiels. Cela a conduit à deux processus décisionnels parallèles concernant le stockage géologique : l'un qui relève de la législation nucléaire et l'autre de la législation environnementale. C'est cette dernière qui prévaut, avec un contrôle plus fort exercé sur l'industrie.

Le rôle d'une contre-expertise financée

Le soutien financier des pouvoirs publics aux organisations environnementales a joué un rôle crucial dans le renforcement de leur expertise et de leur participation au débat public sur la gestion des déchets nucléaires. Il a permis au secteur des mouvements de protection de l'environnement de s'organiser et de créer une cellule de coordination. Cette cellule possède une expertise pour suivre la gestion des déchets nucléaires suédois et a dénoncé à plusieurs reprises devant le tribunal de l'environnement les faiblesses présumées du dossier de sécurité

de la SKB. Le nouveau gouvernement conservateur suédois a récemment réduit cette aide pour cette année et il la supprimera à partir de 2025.

Bien que le gouvernement suédois ait donné son feu vert au projet de stockage, il y a aujourd'hui encore une controverse sur les conteneurs en cuivre utilisés comme première barrière technique pour enfouir le combustible irradié. Le mouvement écologiste et certains experts universitaires continuent à exprimer leur inquiétude sur l'efficacité durable du cuivre en tant que matériau de protection, les recherches suggérant qu'il risque de ne pas rester intact au cours des 100.000 ans prescrits.

Limites – un manque de transparence

Cependant, le modèle suédois a aussi ses limites. La Suède a une forte tradition de transparence administrative. L'entreprise privée SKB ne relève pas de cette tradition, ce qui lui permet de garder ses recherches en partie secrètes. Cela soulève des questions sur l'accessibilité de l'information et sur l'importance de la transparence dans le processus de gouvernance de la gestion des déchets nucléaires.

Le cas de la Suisse

En Suisse, le processus de participation locale à la sélection d'un site pour un stockage géologique en profondeur de déchets radioactifs se caractérise par plusieurs aspects, dont certains visent à inclure les résidents et les acteurs locaux, mais aussi à impliquer les autorités cantonales, bien que leur droit de veto ait été réduit.

La Nagra, la société suisse de traitement des déchets, est responsable du volet 'technique' de la sélection des sites potentiels. Mais la coordination des processus décisionnels, y compris la participation des communautés et des acteurs locaux, est du ressort de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

Un Plan de secteur

À la suite du refus historique du canton de Nidwalden – à chaque fois au travers d'un référendum, ce qui a conduit à un veto cantonal – d'autoriser un stockage pour les déchets de faible et moyenne activité à Wellenberg, une nouvelle approche de la sélection d'un site pour un stockage en profondeur de déchets nucléaires a été mise en place.

Ce processus de sélection s'appuie sur un Plan de secteur, une procédure lors de laquelle les sites sont sélectionnés étape par étape et évalués en fonction de leur adéquation (voir encadré page 4), avec des moments précis pour la participation du public au début de chaque phase. À la fin de la procédure, la décision finale sur l'emplacement est prise par le gouvernement fédéral et est éventuellement suivie d'un référendum national.

Conférences régionales

L'Office fédéral suisse de l'énergie a organisé la participation régionale au processus décisionnel au moyen de ce qu'on appelle des 'conférences régionales'. Il s'agit de comités composés d'autorités locales, d'agences de planification, d'organisations de la société civile et de citoyens, qui ont été mis en place pour impliquer les parties prenantes locales dans le processus décisionnel.

Ces conférences ont bénéficié d'un soutien financier important de la part des pouvoirs publics pour fonctionner comme plateformes de concertation, y compris pour les missions de communication et pour l'organisation de forums participatifs pour la population. En 2024, une seule conférence régionale restera active, celle de Nördlich Lägern.

Bien que les conférences régionales et les communes n'aient pas de droit de veto sur la décision finale d'implantation du stockage, elles peuvent participer aux discussions sur les infrastructures en surface, les aspects liés à la sécurité et le développement régional. Des groupes de travail spécialisés ont été créés au sein des conférences régionales pour se concerter sur des sujets spécifiques. Cela permet de s'assurer que les points de discussion restent concrets et pratiques. Bien que peu connues du grand public, les conférences régionales jouent un rôle crucial pour défendre les intérêts régionaux et exprimer des préférences concernant l'implantation des installations en surface.

En raison de la proximité avec la frontière allemande, il était nécessaire d'impliquer dans le processus non seulement les autorités et les communautés suisses, mais aussi allemandes. Celles-ci sont également représentées dans les conférences régionales et dans d'autres organes de concertation. Cela signifie qu'il faut tenir compte de différentes cultures et de différents systèmes politiques afin de parvenir à une collaboration fructueuse.

Qui est impacté ?

Un important sujet de discussion lors des conférences régionales a été de savoir qui est impacté par la construction et, plus tard, par la présence du stockage géologique et des déchets nucléaires qui y seront enfouis. Le 'rayon' des personnes touchées (ou qui se sentent touchées) a été une question controversée entre les participants allemands et suisses aux conférences. Ce rayon ne doit pas être trop petit (ce que les Suisses ont appris de l'échec du projet de Wellenberg), mais il faut tenir compte du fait que certaines communautés suisses seront confrontées à des impacts très spécifiques liés à un grand chantier de construction (bruit, trafic, etc.). D'autres communautés, de part et d'autre de la frontière, sont moins directement touchées. Contenter tout le monde par rapport à cette question – quelles seront les personnes qui seront certainement impactées dans l'ensemble de la région – est un véritable défi.

Les 'Abgeltungen' – une intervention financière substantielle

La perspective de bénéficier de compensations financières jette encore de l'huile sur le feu dans ce débat. Les communautés qui accueillent le projet peuvent négocier des contributions financières, appelées 'Abgeltungen', qui sont considérées comme une compensation équitable pour la prise en charge de tâches nationales telles que l'acceptation d'un stockage géologique de déchets radioactifs sur leur territoire ou dans leur voisinage. Le chiffre de 800 millions de francs suisses est mentionné comme montant possible de cette compensation. Il semble y avoir un consensus sur le fait que les communes allemandes voisines recevront également une partie de ce montant. Mais la manière dont ces moyens financiers seront gérés et répartis, par exemple au travers d'un éventuel fonds régional, reste à déterminer.

Selon certaines parties concernées, la perspective de cette intervention financière substantielle est un élément décisif pour favoriser l'acceptation locale d'un stockage dans la région.

Construire la confiance, y compris avec les voisins

Il est aussi essentiel, pour réussir à choisir un site de stockage géologique de déchets radioactifs, d'instaurer une confiance mutuelle et de bonnes relations entre les parties prenantes, les pouvoirs organisateurs et les communautés locales.

Le processus suisse de choix du site a été compliqué par la proximité de la frontière allemande avec les régions choisies, un défi que devrait peut-être aussi relever un projet de stockage sur le territoire belge. La Suisse a informé et a impliqué ses voisins allemands à un stade précoce du processus décisionnel (voir aussi le thème 'Aspects internationaux'). La reconnaissance des sensibilités, des préoccupations et des priorités de chacun a constitué un défi supplémentaire pour le processus suisse, mais a permis en même temps d'élargir la base de soutien au projet.

L'instauration de la confiance, tant avec les communautés locales qu'avec les voisins allemands, a nécessité la bonne volonté de toutes les parties concernées et un solide investissement dans les relations de la part des pouvoirs organisateurs. Il s'agit également d'un processus de longue haleine, fait d'essais et d'erreurs, et d'une concertation permanente. Jusqu'à présent, il s'avère que cela fonctionne.

Le cas du Canada

Un élément essentiel des efforts déployés par le Canada pour trouver une solution sûre et à long terme à la gestion des déchets nucléaires consiste à donner la priorité aux communautés locales et à placer leur consentement et leur bien-être au cœur du processus de sélection du site. Le consentement éclairé des communes et des communautés de Premières nations sur le territoire desquelles un stockage géologique sera construit est une condition aussi importante que les questions de sûreté dans le processus de sélection du site au Canada.

Acceptation volontaire

De précédentes expériences, comme celles du rejet du projet à Kincardine, ont fait comprendre à la Société canadienne de gestion des déchets nucléaires (SGDN) que l'accord volontaire des communautés locales, y compris des groupes autochtones, était crucial. C'est pourquoi le processus canadien de choix du site de stockage géologique en profondeur de déchets radioactifs met fortement l'accent sur l'acceptation volontaire des communautés locales, qu'il s'agisse des communes ou des communautés de Premières nations sur le territoire desquelles le stockage sera construit.

La SGDN a mis en œuvre une approche permettant aux communautés de choisir volontairement d'en savoir plus sur le stockage des déchets nucléaires et de poser éventuellement leur candidature pour accueillir une telle installation. Elle a lancé cet appel avant même d'avoir établi une carte des sites potentiels sur la base de critères géologiques et d'autres critères techniques. 22 communes/communautés se sont portées volontaires en réponse à cet appel.

Combinaison de sécurité et d'acceptation locale

Outre les évaluations techniques, qui ont vu certaines communautés être exclues parce que géologiquement inadéquates, un facteur décisif pour la suite du processus de sélection a été l'implication et l'acceptation durables des communautés locales.

Il reste pour l'instant deux sites potentiels, l'un dans le nord et l'autre dans le sud de la province d'Ontario. Le processus final de sélection nécessite l'accord définitif aussi bien des communes locales que des communautés de Premières nations dans les zones sélectionnées.

Des partenariats pour l'avenir

La SGDN travaille à la mise sur pied d'accords de partenariat avec les acteurs locaux, qui définissent la forme et les responsabilités de l'accueil d'un stockage, mais qui incluent aussi les engagements de la SGDN en matière d'emploi, de formation, d'avantages financiers, etc. Aux yeux de la SGDN, il s'agit d'un projet pour les 175 prochaines années, avec des emplois locaux permanents pour 400 à 600 personnes pendant une bonne partie du siècle prochain. Cela peut constituer une incitation importante pour les communautés locales.

D'autre part, la SGDN prévoit aussi des incitants financiers et des actions en faveur du développement local. Cela entraîne régulièrement des malentendus et des attentes irréalistes dans l'opinion publique (et parmi les communautés locales). La SGDN s'efforce de corriger les malentendus et de garantir la transparence financière.

Enfin, la SGDN veut continuer à impliquer les acteurs locaux pendant la construction et l'exploitation du stockage géologique, et même durant la période qui suivra.

Impact de la renaissance nucléaire

Le regain d'intérêt pour l'énergie nucléaire au Canada et les nouveaux projets nucléaires ont un impact significatif sur la concertation avec les acteurs locaux. La SGDN veut mettre tout en œuvre pour que cette renaissance nucléaire n'entraîne pas une rupture de confiance avec les communautés locales, parce qu'il faudrait peut-être revoir les promesses antérieures concernant les volumes de combustible nucléaire irradié à enfouir.

Ces adaptations peuvent conduire à un 'consentement conditionnel' par lequel les communes et les communautés locales de Premières nations acceptent un stockage pour les déchets existants, mais négocient de nouvelles conditions pour les déchets futurs. Quoi qu'il en soit, les projets d'expansion de l'énergie nucléaire compliquent la concertation.

Le cas de la Belgique pour les déchets de catégorie A

L'ONDRAF/NIRAS possède une expérience spécifique en Belgique de concertation locale pour l'entreposage en surface de déchets radioactifs de faible et moyenne activité et de courte durée de vie (catégorie A). À l'issue d'un vaste processus de consultation des communautés locales, il a été décidé de construire une telle installation de stockage à Dessel.

Partenariats locaux

Cette décision a fait suite à un processus de coopération qui a débuté il y a plusieurs décennies avec les partenariats locaux MONA et STORA, respectivement à Mol et à Dessel. Ces partenariats ont joué un rôle crucial dans le processus décisionnel et restent des parties prenantes, à côté des administrations communales des deux localités campinoises.

Constitués en associations sans but lucratif, ces partenariats se composent de plusieurs parties concernées, dont des partis politiques, des conseils consultatifs locaux et des citoyens, et ont

mis sur pied des groupes de travail pour débattre de divers sujets, tels que l'environnement et le développement local, la sûreté et la sécurité, le concept de stockage etc. Les communautés locales, par l'intermédiaire des partenariats et de leurs conseils communaux, avaient même le droit d'opposer leur veto au projet de stockage.

Développement régional

Les partenariats ont également posé des conditions sociales pour accueillir l'installation sur leur territoire ou à proximité de celui-ci, entre autres des projets de développement local et des études de santé. Un 'Fonds local' doté d'un capital initial de 110 millions d'euros a été constitué pour soutenir des projets locaux dès que le stockage aura été réalisé.

Un modèle pour les déchets B et C ?

Bien que le modèle des partenariats locaux ait été une réussite pour les déchets de catégorie A, le processus décisionnel pour les déchets de catégorie B et C devrait sans doute suivre un cours différent. Il faudra probablement impliquer un cercle plus large, comprenant plusieurs communes ou régions, y compris des communautés locales dans des zones frontalières.

Le concept belge (provisoire) de stockage géologique en profondeur

Focus sur l'argile peu indurée

Contrairement par exemple aux Pays-Bas et à l'Allemagne, la Belgique ne dispose pas de couches salines appropriées pouvant servir de roches hôtes pour le stockage géologique des déchets radioactifs, ni de formations granitiques comme la Suède et la Finlande.

En Belgique, l'accent est mis sur l'argile de Boom (et, dans une moindre mesure, sur l'argile yprésienne). Ces roches se sont formées il y a 30 à 50 millions d'années. Dans une grande partie du nord de la Belgique, elles ont été recouvertes par d'autres sédiments. Au cours des derniers millions d'années, ces couches d'argile ont résisté à plusieurs périodes de glaciation.

Depuis une quarantaine d'années, le laboratoire de recherche souterrain HADES, aménagé dans le sous-sol de la Campine anversoise, a fourni un tas de connaissances sur l'argile peu indurée en tant que roche hôte potentielle pour un stockage géologique. Ces recherches visaient principalement à déterminer si un stockage géologique dans l'argile était techniquement possible et sûr, et pas à savoir si les environs immédiats du laboratoire HADES étaient un site approprié.

L'argile peu indurée qui a été étudiée présente en tout cas des propriétés satisfaisantes en tant que roche hôte potentielle pour garantir la sécurité à long terme d'un stockage géologique : transport très lent des substances solubles dans l'eau, forte rétention des métaux lourds, capacité d'autoréparation de l'argile en cas de fissures, importante capacité de tampon chimique, etc. L'influence thermique des déchets de haute radioactivité sur l'argile a également été passée au crible, tant en laboratoire qu'à grande échelle et à long terme. Un vaste programme de recherche technique en ingénierie a également été mis en place concernant la faisabilité pratique du creusement d'un stockage dans de l'argile peu indurée.

Les études et les modèles réalisés à ce jour ont tenu compte pendant plus de 20 ans de l'hétérogénéité des formations argileuses étudiées, tant pour l'argile de Boom que pour l'argile yprésienne. Tous les processus de transport des radionucléides ont ainsi été pris en

compte pour calculer leur temps d'arrivée potentiel dans des couches aquifères (advection, dispersion, diffusion, adsorption/désorption, dégradation et effet de l'eau stagnante (diffusion matricielle)).

Des voix critiques

Cependant, la réalité géologique des couches d'argile peu indurée, en particulier l'argile de Boom, a également des limites. L'une des personnes interviewées affirme que la couche d'argile de Boom est de loin la meilleure roche hôte de Belgique susceptibles d'accueillir un stockage géologique... dans l'état actuel de nos connaissances. Un autre interlocuteur fait entendre une voix plus critique, estimant que la société n'accepterait jamais un stockage géologique à la profondeur relativement faible à laquelle se trouve l'argile de Boom, même si des recherches démontrent qu'une telle profondeur pourrait être sûre. Et même si l'argile de Boom était une couche géologiquement appropriée, des sites potentiels pourraient déjà être pris pour d'autres applications souterraines, telles que la production d'énergie géothermique.

En résumé, selon certaines personnes interviewées, il n'est pas exclu que l'argile de Boom ne soit finalement pas retenue comme roche hôte appropriée pour un stockage géologique en Belgique, en raison d'une combinaison de critères géologiques, mais aussi sociétaux et économiques.

Étude des barrières artificielles

Les barrières artificielles destinées à encapsuler les déchets ont aussi fait l'objet de pas mal de recherches. L'ONDRAF/NIRAS a développé aujourd'hui le concept des 'superconteneurs' pour les déchets vitrifiés de haute radioactivité et le combustible usé, et des monolithes ronds en béton pour les déchets de faible ou moyenne radioactivité et de longue durée de vie.

Ces concepts ont été prévus pour un stockage final dans de l'argile peu indurée. La conception du suremballage sera adaptée sur mesure en fonction des caractéristiques du site final choisi. En outre, la recherche sur les barrières artificielles se poursuivra, indépendamment de la proposition actuelle. On s'attend à ce que des progrès significatifs concernant les matériaux et les barrières artificielles soient encore réalisés d'ici à ce que le stockage soit exploité.

Recherches sur d'autres roches hôtes en Belgique

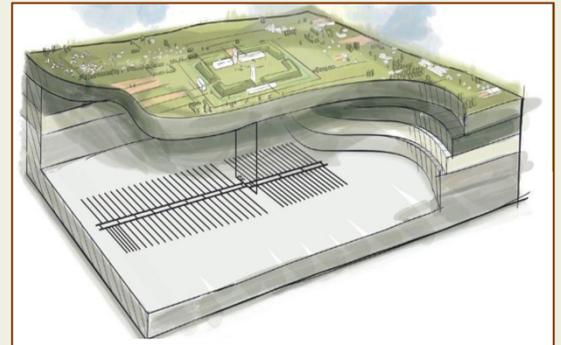
Dès les années 1980, l'ONDRAF/NIRAS a étendu ses recherches à l'argile yprésienne, également présente dans le nord de la Belgique et située plus en profondeur que l'argile de Boom. Les critiques envers l'argile de Boom indiquent que même pour l'argile yprésienne, il n'y aurait que très peu de sites appropriés en Belgique.

On suggère aussi que la ceinture ardoisière ardennaise pourrait potentiellement constituer une roche hôte. Elle est située dans des régions moins peuplées et moins industrialisées et pourrait bénéficier d'une plus grande acceptation de la part du public. D'autres soulignent les connaissances limitées des propriétés de la ceinture schisteuse ardennaise à la profondeur requise, entre autres au sujet de la perméabilité de cette roche. De plus, la présence de plis, de fractures et de fissures dans le schiste réduit la stabilité et la prévisibilité de la roche et les propriétés locales sont difficiles à extrapoler à d'autres endroits, même si tous les experts ne sont pas d'accord sur ce point.

D'autre part, il faut tenir compte du fait que des recherches approfondies sont coûteuses, demandent beaucoup de main d'œuvre et s'étendent sur une longue période. Il est impossible de réaliser une étude approfondie de type HADES sur 20 sites différents en Belgique. Quel que soit l'endroit choisi à l'avenir, la situation géologique et souterraine de chaque site potentiel retenu devra être entièrement cartographiée et comparée à la situation d'autres sites. D'un autre côté, il est illusoire de penser qu'il existe un endroit idéal pour un stockage géologique. Dans le cadre de la conception et de l'élaboration du stockage, il existe encore de nombreux degrés de liberté qui peuvent/doivent être adaptés à la roche hôte retenue et au site spécifique.

Un éventuel stockage belge en pratique

La future installation de stockage géologique de déchets radioactifs – telle qu'elle est conçue actuellement – consistera en plusieurs puits verticaux qui descendront jusqu'au niveau de la roche hôte. À partir de ces puits, des galeries seront creusées pour les différents types de déchets, avec des distances plus grandes pour les déchets de haute radioactivité et le combustible usé en raison de l'émission de chaleur.



Le concept de stockage proposé est spécifiquement conçu pour des couches géologiques tendres telles que l'argile de Boom ou l'argile yprésienne. Si un autre type de roche est finalement choisi, par exemple une roche dure, le concept devra être adapté, tout comme dans le cas où on déciderait de construire plusieurs stockages adaptés à des types de déchets spécifiques ou si d'autres choix radicaux étaient faits à l'avenir.

L'empreinte souterraine de l'installation qui est actuellement proposée couvrira environ cinq kilomètres carrés, avec des galeries de stockage d'un kilomètre de long et des galeries d'accès d'une longueur totale de 2,5 kilomètres. La flexibilité de la conception de l'installation lui permet de s'adapter à la prolongation des centrales nucléaires de Doel 4 et de Tihange 3, mais n'est pas prévue pour accueillir des quantités supplémentaires de déchets si la Belgique décidait de construire de nouveaux réacteurs nucléaires.

En surface, on prévoit des voies d'accès, une tour pour le transport des déchets, des bâtiments administratifs et éventuellement des installations de conditionnement des déchets. Les modalités précises de ces infrastructures ne sont pas encore fixées et peuvent dépendre de la question de savoir si les déchets B et C seront stockés ensemble ou séparément. L'installation en surface aura une superficie d'environ 100 hectares (1 km sur 1 km), ce qui est dû en partie au stockage en surface des déblais sur le site.

Le scénario d'exploitation actuel (très provisoire) prévoit qu'un superconteneur sera enfoui chaque jour dans le stockage. À la fin de la semaine, les espaces entre les superconteneurs et le manteau en béton de la galerie seront comblés. Dans une optique de récupérabilité, ce remplissage sera effectué à l'aide d'un matériau qui pourra encore être retiré assez facilement. Néanmoins, certains experts restent favorables à l'adoption d'un système passif le plus rapidement possible. Selon eux, cela garantit une sécurité bien plus élevée qu'un stockage ouvert avec une surveillance active.

Tentative de calendrier

Calendrier du scénario de référence pour le stockage géologique des déchets de haute radioactivité et de longue durée de vie

Fasen	Duur	Start	Einde
Vergunning toegekend			2050
Voorbereiding van de site, bouw van de schachten en de zone voor het B-afval	20	2050	2070
Bouw Post Conditioning Facility B-afval (PCF B)	5	2065	2070
Cat B : Plaatsing monolieten B	20	2070	2090
Buitenbedrijfstelling & Ontmanteling PCF B	5	2090	2095
Sluiting B-zone en Bouw C-zone	20	2090	2110
Bouw Post Conditioning Facility C-afval (PCF C)	5	2105	2110
Cat C : Plaatsen supercontainers	20	2110	2130
Buitenbedrijfstelling & Ontmanteling PCF C	5	2130	2135
Sluiting van de bergingsinstallatie	5	2130	2135
Institutionele controle	5	2135	

Bron NIRAS/ONDRAF

Dans le scénario de référence de l'ONDRAF/NIRAS, la préparation, la construction de la zone commune (puits, etc.) et la construction des galeries de stockage pour les déchets B prendront environ 20 ans à partir de l'obtention des permis nécessaires. L'enfouissement des déchets B prendra environ 20 ans aussi. Pour la fermeture de la zone B et la *construction* de la zone C, on table sur 20 à 30 ans de plus.

Il faudra donc encore au moins 60 ans après le premier coup de bêche avant de pouvoir commencer à enfouir les déchets de haute radioactivité et le combustible nucléaire irradié.

Environ 85 années (au minimum) se seront écoulées depuis l'obtention du permis, et plus de 110 années à dater d'aujourd'hui, avant que l'installation de le stockage puisse être scellée.

Douze messages clés

Le choix du site, une question sociétale et technique

1. Le choix d'un site de stockage géologique pour les déchets radioactifs nécessite d'intégrer en un ensemble unique des processus décisionnels géologiques, techniques, environnementaux, économiques et, surtout, sociopolitiques.

Le processus sociétal et participatif

2. Pour réussir à implanter un stockage géologique de déchets radioactifs, il est essentiel de susciter l'adhésion de la population. Cela nécessite tout d'abord un processus décisionnel transparent et conçu avec soin, qui implique activement les communautés, les administrations et les parties prenantes locales. Ce dialogue local s'est structuré en Suisse autour des conférences régionales, en Belgique (pour les déchets radioactifs A) au travers de partenariats locaux et au Canada par des candidatures volontaires. En Suède, les communautés locales ont également été impliquées, mais l'un des aspects uniques du modèle suédois est le financement à long terme de mouvements de défense de l'environnement afin de développer une contre-expertise capable de faire contrepoids à l'industrie nucléaire.
3. Les approches adoptées dans tous ces pays montrent que la confiance des communautés locales peut être obtenue grâce à un dialogue continu, sincère et

approfondi et grâce à des programmes qui démontrent la sécurité et la nécessité de l'installation. Mais ces études de cas soulignent aussi à quel point il peut être délicat de déterminer quelles communautés locales appartiennent au cercle des communautés 'affectées' ou 'impactées'.

4. Il est frappant de noter que dans tous ces cas, à l'exception de la Suisse, l'emplacement finalement retenu d'une installation de stockage en profondeur se situe ou se situera dans une région ayant une activité nucléaire historique.
5. Les incitants financiers destinés à créer une plus-value pour les communautés locales jouent un rôle important dans un certain nombre de cas. Ils déterminent dans une large mesure les attentes et le niveau d'acceptation de la population et des acteurs politiques locaux concernant l'implantation locale d'un stockage géologique de déchets radioactifs. Dans plusieurs cas, la recherche d'un juste équilibre entre, d'une part, l'impact négatif potentiel de la présence du stockage et le sentiment d'assumer une responsabilité pour la société et, d'autre part, les incitants (financiers) positifs s'avère cruciale pour susciter l'adhésion de la population locale.
6. L'exemple canadien montre qu'une renaissance nucléaire peut avoir un impact considérable sur les négociations avec les communautés locales et sur leur disposition à accepter un stockage géologique en profondeur sur leur territoire.

Caractéristiques géologiques

7. Les propriétés et l'intégrité d'une roche hôte potentielle sont cruciales pour la sûreté à long terme, les critères clés étant entre autres une très faible perméabilité à l'eau et la capacité de confinement des particules radioactives. Chaque roche hôte présente cependant des défis spécifiques pour la conception et la construction d'un stockage et des barrières artificielles.
8. Les sites potentiels doivent être géologiquement stables à long terme et exempts de risques tels que de graves tremblements de terre et une activité volcanique. Un stockage plus profond n'équivaut pas toujours à un stockage plus sûr; les influences climatiques telles que l'élévation du niveau de la mer ou les futures périodes glaciaires doivent être envisagées, mais une sélection soigneuse du site peut minimiser les risques.

Conception et construction

9. La conception du stockage doit pouvoir s'adapter à de futurs développements technologiques et à l'évolution des préférences de la société en matière de gestion des déchets radioactifs.
10. La sûreté d'un stockage géologique repose sur une combinaison de barrières conçues par l'homme et des barrières naturelles de la roche hôte. Les stockages géologiques exigent les mesures de sécurité les plus élevées et une surveillance étroite de la part des autorités de sûreté.

Utilisation de l'espace dans le sous-sol et en surface

11. L'utilisation du sous-sol pour y enfouir des déchets radioactifs entre en concurrence avec d'autres fonctions souterraines telles que le stockage de l'énergie et l'extraction de matières premières. L'utilisation de l'espace en surface peut également déterminer

l'emplacement d'un stockage en profondeur étant donné que le 'chantier du stockage' restera actif pendant de longues décennies.

12. Le contexte légal de l'utilisation de l'espace souterrain est complexe et nécessite une coordination entre différents niveaux de pouvoir et de régulation. La décision relative à l'emplacement d'un stockage géologique doit tenir compte d'un large éventail de réglementations et de visions nationales, régionales et locales concernant l'utilisation de cet espace, tant en surface qu'en profondeur.