

**ressources du
sous-sol et dépôts
en couches
géologiques
profondes: risque
de conflit?**

nagra.

De quoi s'agit-il?

Les déchets radioactifs doivent être entreposés dans des dépôts en couches géologiques profondes (voir glossaire) pour assurer la protection de l'homme et de l'environnement. Telle est l'exigence posée par les experts et par la loi. Le sous-sol peut cependant aussi renfermer des ressources telles que gaz naturel, pétrole, charbon, sel, roches, terres ou minerais, ainsi que des eaux minérales ou thermales. Il peut également être utilisé comme source d'énergie par le biais de la géothermie ou pour le stockage de gaz.

Des lois protègent le dépôt et régissent l'utilisation des ressources

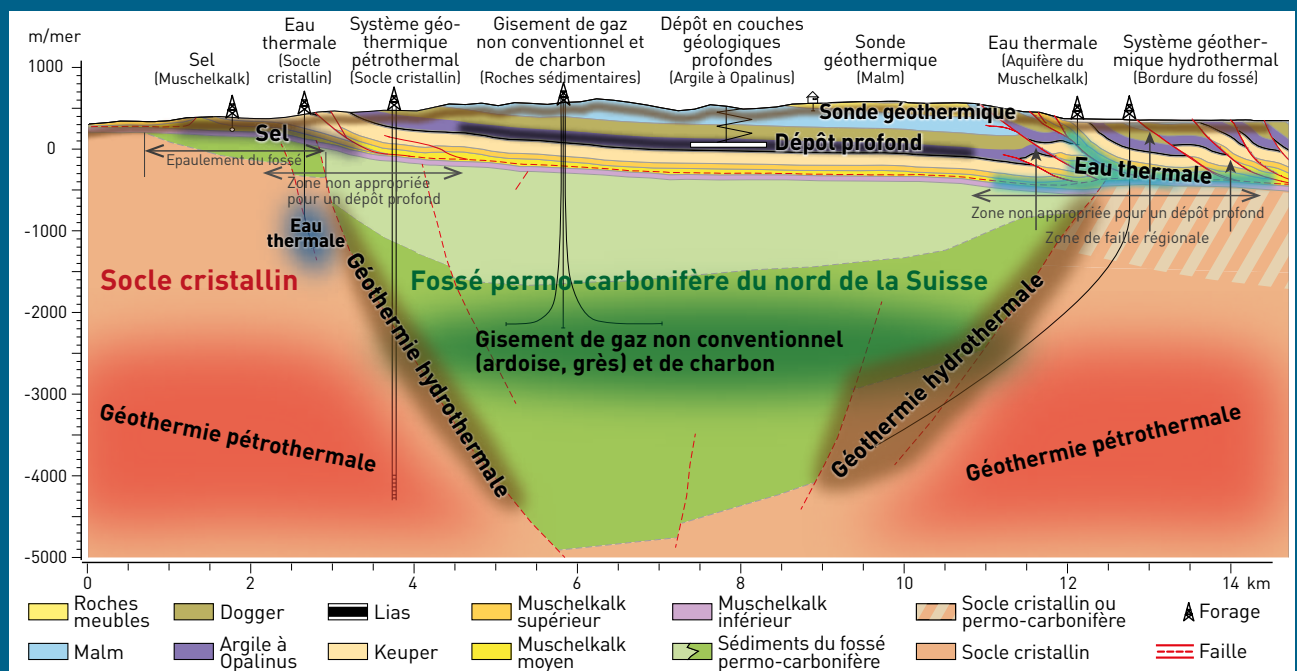
Les concessions pour l'exploitation des ressources sont accordées par les cantons en conformité avec les lois cantonales sur l'utilisation du sous-sol. Les cantons d'Argovie et de Thurgovie disposent déjà de telles lois, alors que le canton de Zurich examine actuellement un projet législatif sur la question. La loi sur l'énergie nucléaire exige qu'un dépôt en couches géologiques profondes destiné aux déchets radioactifs soit protégé contre les intrusions, ce qui entraîne potentiellement des restrictions pour les autres utilisations. Cependant, un dépôt profond ne doit pas inutilement limiter de futures exploitations prévisibles de ressources naturelles. La Confédération dirige les processus de

recherche de sites d'implantation pour ces dépôts, selon les trois étapes inscrites dans le plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes»; elle veille à ce que les différents intérêts relatifs à l'utilisation du sous-sol soient pris en compte.

La Nagra possède des connaissances détaillées du sous-sol

Conformément au plan sectoriel, la Nagra a analysé la probabilité qu'un dépôt en profondeur conduise à des conflits d'utilisation, aujourd'hui ou dans un avenir proche. A cet effet, elle a évalué le potentiel des ressources exploitables dans les domaines d'implantation géologiques (voir glossaire) en se basant sur les sondages du sous-sol effectués par ses soins et par des tiers. Elle a publié les résultats de cette évaluation dans le rapport technique NTB 14-02, dossier VII. La présente brochure synthétise les résultats pour les domaines d'implantation potentiels Zurich nord-est, Nord des Lägern et Jura-est. Ces régions feront l'objet d'un examen plus approfondi au cours des prochaines années.

Figure 1:
Vue schématique des utilisations possibles du sous-sol dans le nord de la Suisse (schématisées); profil géologique selon le rapport technique de la Nagra NTB 14-02, dossier II, annexe 4-4.



- Domaine d'implantation DHA
- Domaine d'implantation DFMA
- Périmètre de dépôt DHA
- Périmètre de dépôt DFMA

Légende des illustrations des pages 3, 4 et 5.

Différents types de gaz naturel et de pétrole

Pour les hydrocarbures (gaz naturel et pétrole), il faut distinguer les gisements conventionnels dans des roches-réservoirs poreuses (grès poreux, roches carbonatées fissurées) des gisements non conventionnels dans des roches denses (ardoise, grès denses, charbon), lesquels ne peuvent être exploités que par fracturation hydraulique («fracking»). Les indices permettant de détecter des gisements potentiels de gaz (et de pétrole) de schiste comprennent notamment le taux de matière organique dans une couche rocheuse ainsi que son degré de maturité (voir glossaire).

Potentiel estimé par la Nagra

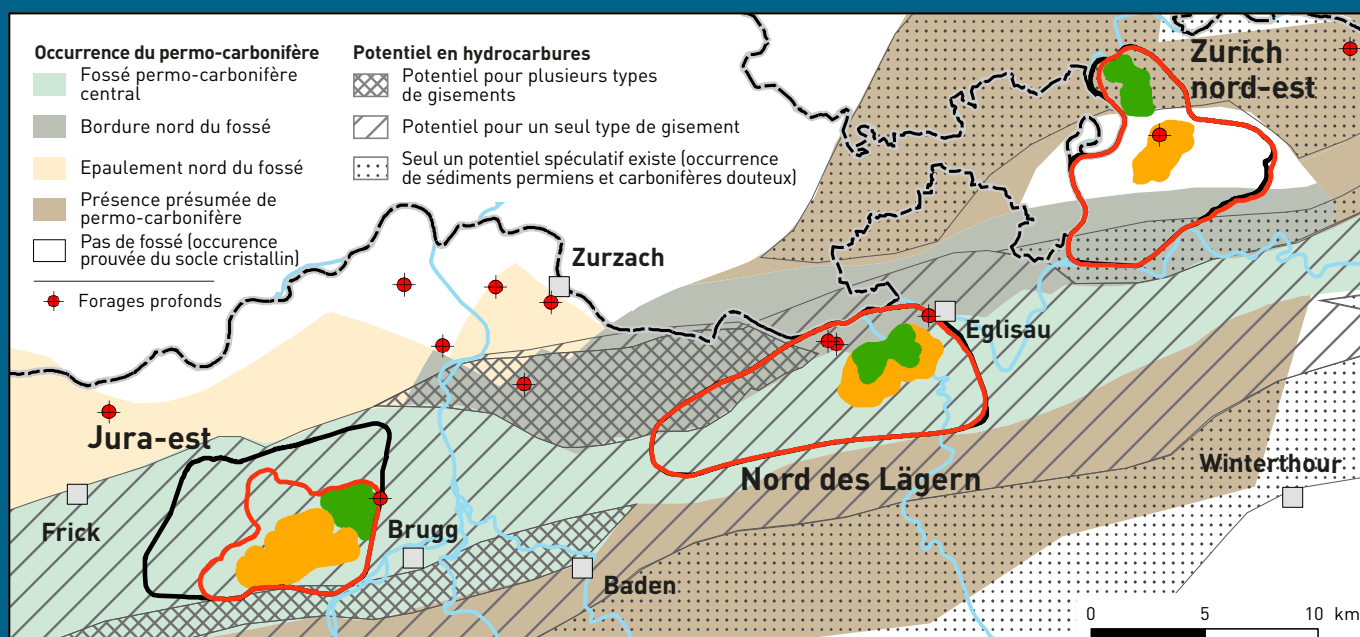
Dans les roches sédimentaires du fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse, il y a lieu de supposer la présence de gisements de charbon et d'hydrocarbures (cf. fig. 2 et 3). La probabilité d'y trouver un important gisement conventionnel de gaz est toutefois faible, en raison de la porosité généralement faible des roches sédimentaires rencontrées dans ce fossé. Nonobstant, la présence de gisements non conventionnels à grande profondeur ne peut pas être exclue. A la différence des gisements de gaz conventionnels, l'exploitation de gisements non conventionnels est strictement limitée dans l'espace (limitée à la zone de fracturation hydraulique) et n'engendre pas

de phénomènes de tassement importants (voir glossaire) en surface. Jusqu'ici, il n'a pas été possible d'attester la présence de dépôts de charbon ou de pétrole dont l'exploitation serait économiquement rentable, mais ces conclusions peuvent être amenées à changer suivant le développement des technologies d'exploitation. En conséquence, il est du devoir de la Nagra d'estimer les ressources fossiles potentielles et de repérer les conflits d'utilisation qui pourraient survenir dans le futur.

Dans les domaines d'implantation potentiels Nord des Lägern et Jura-est, les couches rocheuses du fossé permo-carbonifère présentent un potentiel de ressources en charbon et en hydrocarbures; ces couches sont situées à grande profondeur au-dessous de l'Argile à Opalinus prévue comme roche d'accueil pour un dépôt profond. Aucun fossé permo-carbonifère n'est présent dans le domaine Zurich nord-est au-dessous du périmètre prévu pour l'aménagement d'un dépôt pour déchets de haute activité (DHA), ce qui exclut la présence de gisements d'hydrocarbures. L'existence d'un fossé permo-carbonifère est toujours incertaine sous le périmètre de dépôt pour les déchets de faible et moyenne activité (DFMA) situé plus au nord (cf. fig. 2).

Figure 2:

Carte des ressources potentielles en charbon et hydrocarbures dans le fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse, dans la région des domaines d'implantation potentiels.



Les données collectées dans le cadre de l'étape 3 du plan sectoriel serviront également à améliorer les connaissances sur la géométrie et le potentiel en ressources fossiles du fossé permo-carbonifère, ainsi qu'à clarifier la présence d'un tel fossé dans la partie septentrionale du domaine Zurich nord-est.

Gaz de schiste dans l'Argile à Opalinus?

En Suisse, la roche d'accueil prévue pour les deux types de déchets radioactifs est l'Argile à Opalinus, une roche extrêmement peu perméable et qui a la capacité de colmater elle-même de petites fissures. Dans les domaines d'implantation potentiels pour un dépôt en profondeur, la faible teneur en matière organique et son faible degré de maturité dans l'argile à Opalinus excluent la possibilité d'y trouver des gisements exploitables de gaz de schiste. Plus au sud, surtout en direction de la Suisse romande, la teneur en matière organique et son degré de maturité augmentent, aussi bien dans l'Argile à Opalinus que dans le schiste bitumineux sous-jacent, ce qui augmente le potentiel de ressources de gaz de schiste exploitables.

Pas de restrictions significatives

Le fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse s'étend sur un total de 1500 km² environ.

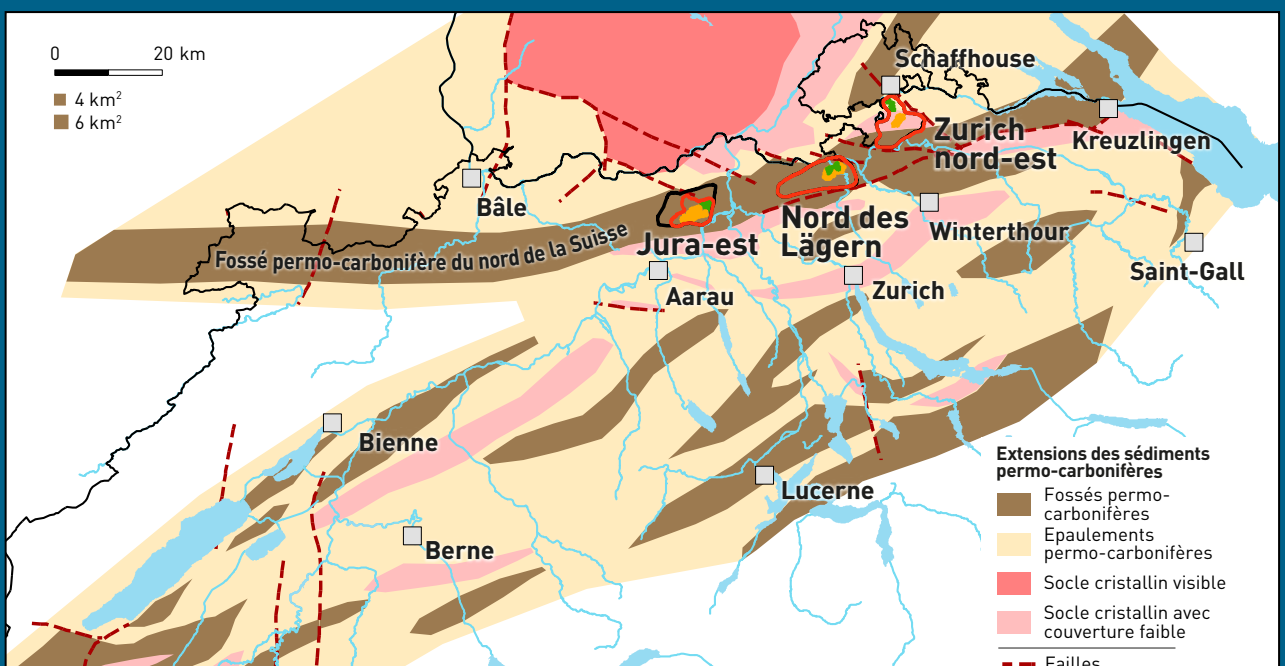
En comparaison de cette surface, la place nécessaire pour un dépôt en profondeur est très petite (DHA: max. 4 à 6 km², DFMA: max. 2 à 3 km², réserves comprises dans les deux cas). La part de gisements du Permo-Carbonifère où l'éventuelle exploitation de ressources fossiles pourrait être affectée par un dépôt est par conséquent très faible.

Le fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse

Il existe de nombreux fossés permo-carbonifères en Suisse. Celui du nord du pays s'étend du lac de Constance jusqu'au canton du Jura, en passant au-dessous des domaines d'implantation Nord des Lägern et Jura-est. Les bordures de ce fossé large de plusieurs kilomètres ne se prêtent pas à l'aménagement d'un dépôt profond (cf. fig. 1), mais sont favorables à la circulation d'eaux thermales et pourraient donc être utilisées pour la géothermie hydrothermale. En profondeur, le socle cristallin affaissé délimite la profondeur du fossé, par endroit à plusieurs milliers de mètres sous la surface. Ces fossés datant du Carbonifère et du Permien ont été comblés par des sédiments de cette période (env. 360 à 250 millions d'années avant notre ère) pouvant contenir du charbon et des hydrocarbures.

Figure 3:

La surface nécessaire pour un dépôt en profondeur est réduite en comparaison de l'extension du fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse.



Ressources en eaux minérales et thermales

Lors de la délimitation des périmètres des dépôts, les zones où se trouvent des exploitations d'eaux minérales et thermales ont été exclues (cf. fig. 4) et les recherches montrent qu'un dépôt profond n'aurait aucune incidence, ni qualitative ni quantitative, sur ces ressources. Il n'y a que pour le forage d'eau thermique de Lottstetten-Nack (D), actuellement non exploité, qu'un effet dû à l'ouvrage d'accès à un éventuel dépôt profond ne peut totalement être exclu. Les essais hydrauliques et les analyses hydrochimiques qui font partie des investigations de la Nagra à l'étape 3 du plan sectoriel fourniront de plus amples informations sur les aquifères profonds.

Un dépôt profond n'a pas d'influence sur les flux d'eaux souterraines

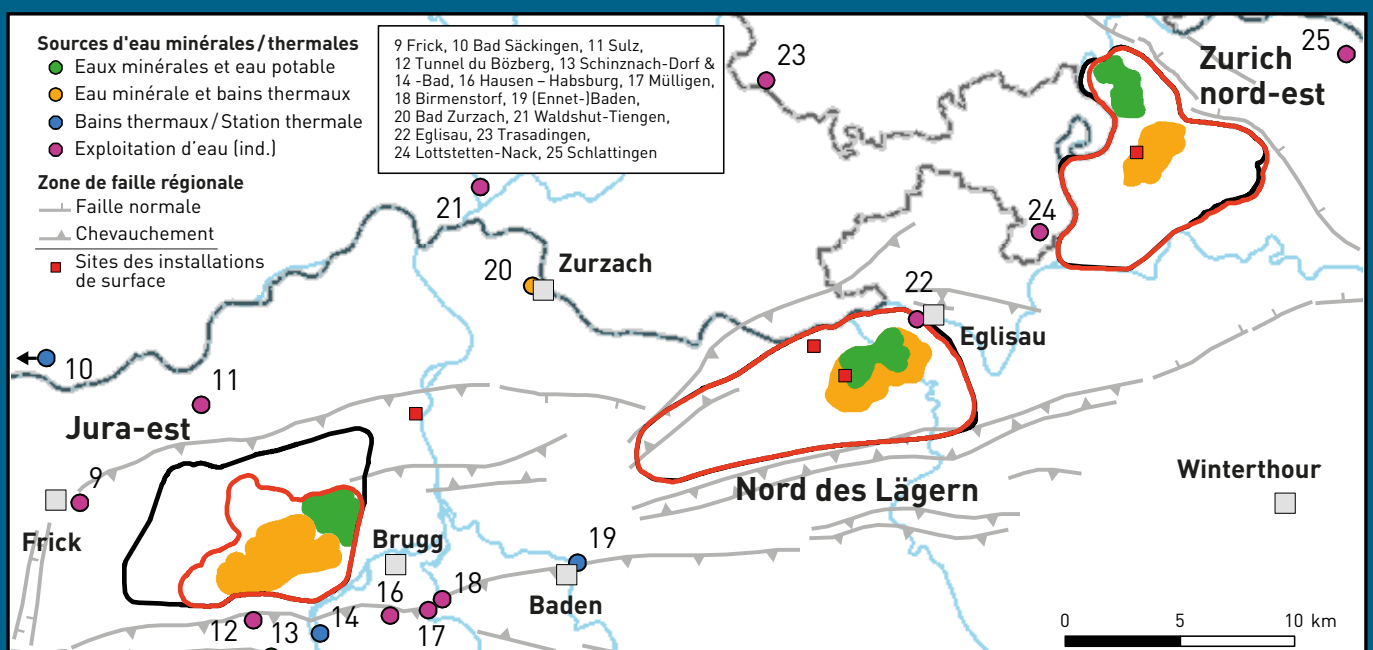
Les eaux minérales et thermales proviennent principalement des couches rocheuses aquifères situées à quelques centaines de mètres de profondeur, les aquifères profonds. Les déchets radioactifs seront enfermés dans l'Argile à Opalinus, qui est extrêmement peu perméable. Le dépôt est ainsi séparé hydrauliquement des couches aquifères se trouvant au-dessus et au-dessous.

Ouvrages d'accès: mesures de construction aisément réalisables

Les ouvrages d'accès reliant les installations de surface au dépôt profond doivent être conçus de façon à assurer à long terme une séparation sûre et durable entre les différents aquifères et entre ces derniers et le dépôt. Notamment aux endroits où les ouvrages doivent traverser des couches aquifères, il est important de les étanchéifier pour empêcher toute pénétration d'eau. En outre, ces galeries seront comblées et scellées lors de la fermeture du dépôt. Ce comblement empêche les influences sur les aquifères et sur leur exploitation. Cependant, ces ouvrages doivent de préférence être aménagés de manière à ne pas traverser des couches aquifères, ni des zones de failles.

Il est possible d'exclure toute influence due aux ouvrages d'accès sur les ressources en eau exploitées à Baden, Ennetbaden, Bad Schinznach, Bad Zurzach, Bad Säkingen et Waldshut-Tiengen. En effet, les aquifères utilisés se trouvent au-dessous de l'Argile à Opalinus et ne seront donc pas traversés. Dans le domaine Nord des Lägern, un aquifère serait traversé, mais d'après les connaissances actuelles, l'ouvrage d'accès n'aurait aucun impact sur la source minérale d'Eglisau.

Figure 4: Les ressources en eaux minérales et thermales sont souvent liées à des zones de failles régionales telles que le chevauchement principal du Jura, comme par exemple à Bad Schinznach. Lors de la construction du dépôt, ces zones seront évitées (cf. fig. 1).



Ressources géothermiques

En Suisse, les systèmes géothermiques sont utilisés pour la production de chaleur. Un dépôt en profondeur ne limite pas l'exploitation de ces systèmes, existants ou futurs, ce qui exclut tout conflit d'utilisation potentiel dans le futur. D'une part, les régions intéressantes pour la géothermie ont été évitées pour des raisons tectoniques (zones de failles) et d'autre part, les systèmes exploitant cette énergie peuvent le cas échéant être construits en dehors des périmètres prévus pour le dépôt.

Différents systèmes géothermiques

On classe les systèmes géothermiques en deux grandes catégories: la géothermie de faible profondeur (p. ex. les sondes géothermiques) et la géothermie profonde (exploitation hydrothermale ou pétrothermale) (cf. fig. 1 et 5). Les systèmes hydrothermaux utilisent la chaleur contenue dans des eaux thermales se trouvant naturellement dans des roches sédimentaires profondes ou dans le socle cristallin. Ces couches rocheuses étant de plus en plus profondes en allant vers le sud, les eaux thermales y sont de plus en plus chaudes; dans le nord de la Suisse, les températures régnant dans les sédiments (p. ex. Malm, Muschelkalk) sont trop basses pour permettre la production d'électricité. Dans le cas des systèmes pétrothermaux, de l'eau est injectée sous pression dans le socle cristallin profond

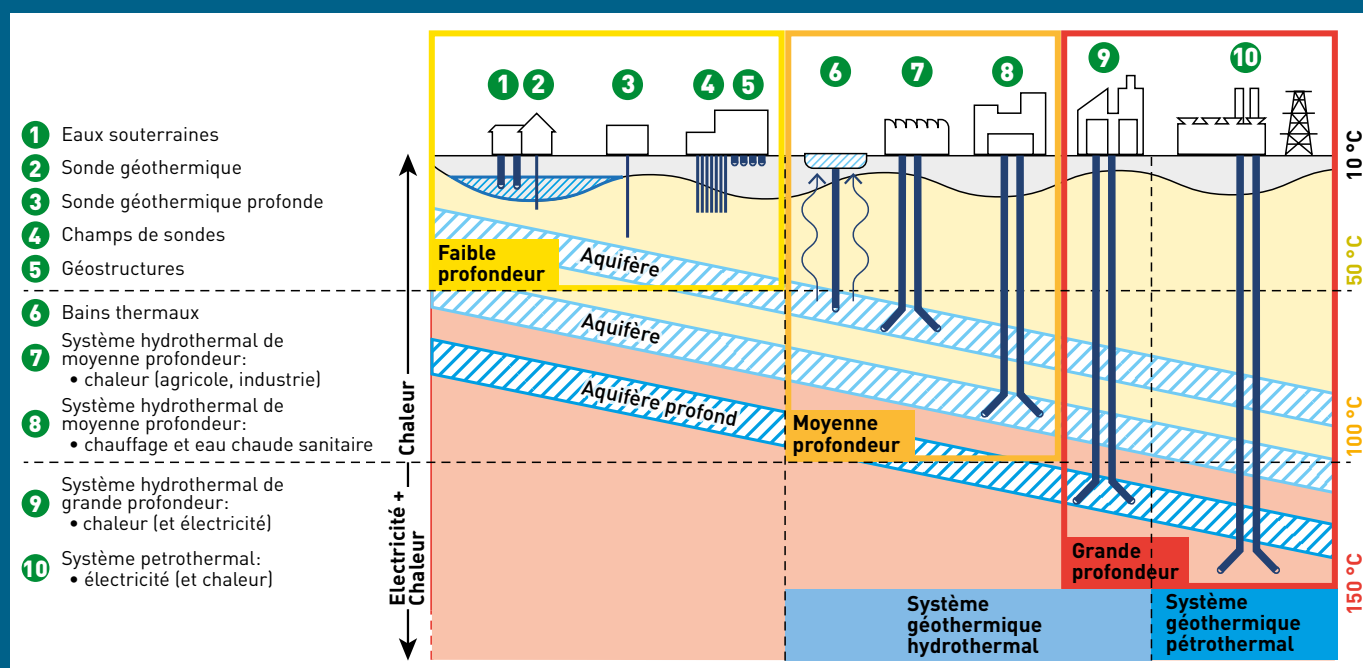
afin de fracturer les roches (fracturation hydraulique) et ouvrir ainsi des fissures dans lesquelles de l'eau froide pourra circuler artificiellement. L'eau ainsi injectée se réchauffe au contact de la roche et remonte par un second trou de forage.

Futures utilisations possibles

Les bordures du fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse, favorables aux circulations des eaux profondes, pourraient être intéressantes pour de futurs systèmes hydrothermaux. Dans les domaines d'implantation Zurich nord-est, Nord des Lägern et Jura-est, les périmètres des dépôts sont en partie délimités par les bordures du fossé. Dans les environs immédiats d'un dépôt profond, il est possible que l'utilisation hydrothermale des bordures du fossé soit localement restreinte. Cependant, vu la vaste extension de ces fossés (cf. fig. 3) et l'étendue de la ressource géothermale en général, ces restrictions n'auraient que peu de conséquences.

Les systèmes pétrothermaux utilisent les roches cristallines chaudes situées à grande profondeur et ne sont pas liés à des zones de failles ni à des aquifères. Ils peuvent être construits presque partout et peuvent donc éviter aisément un dépôt en profondeur.

Figure 5: Différents types de géothermie (source: Géothermie-Suisse / SuisseEnergie). Pour des raisons techniques et économiques, aucun système pétrothermal n'a à ce jour été développé en Suisse.



Superficie et protection d'un dépôt en couches géologiques profondes

Autres ressources potentielles

La Nagra a également étudié les éventuels conflits d'utilisation pour d'autres ressources, telles que roches, terre, minerais, ou sel, ou encore pour le stockage de gaz. Au vu des ressources potentielles, de l'épaisseur des couches concernées ainsi que des mesures de protection du dépôt, elle n'a pas décelé de conflits notables, ni pour la roche d'accueil, ni pour les formations se trouvant au-dessus ou au-dessous.

En principe, on ne peut exclure la présence de ressources naturelles potentielles dans les domaines d'implantation et les périmètres des dépôts en couches géologiques profondes (voir pages 3 – 6). La capacité d'y construire un dépôt profond sûr, sans engendrer de conflit d'utilisation majeur, n'est néanmoins pas compromise, que cela soit pour l'exploitation actuelle des ressources ou pour une exploitation future possible. Quant aux mesures de protection destinées à assurer la sûreté du dépôt en couches géologiques profondes, elles ne restreignent les autres utilisations du sous-sol que de façon très limitée. La rentabilité économique d'une ressource dépend avant tout de sa taille, de sa profondeur et de sa dispersion. Dans le cas par exemple des hydrocarbures et dans l'état actuel des recherches, aucun gisement économiquement exploitable n'a pu être démontré. Les études géologiques du sous-sol prévues dans le cadre de l'étape 3 du plan sectoriel livreront des connaissances encore plus approfondies dans ce domaine notamment.

La protection du dépôt profond est prioritaire

Dans le plan sectoriel, les différents intérêts liés à l'utilisation du sous-sol sont soupesés (voir encadré). En prenant la décision finale de construction d'un dépôt en profondeur, la Confédération devra également délimiter un périmètre de protection. A l'intérieur de ce dernier, certaines utilisations telles que les sondes géothermiques pour des maisons individuelles resteront possibles, mais la profondeur maximale des sondes sera limitée à environ 200 mètres. Les forages plus profonds, la construction de galeries, le dynamitage et d'autres projets qui touchent à la zone de protection dans le sous-sol seront par contre soumis à autorisation et la preuve devra être fournie qu'ils ne compromettent pas la sûreté du dépôt.

Faible superficie requise

Un dépôt en profondeur n'utilise qu'une superficie limitée, surtout en comparaison de la surface totale où pourraient se trouver des ressources fossiles (voir page 4). L'exploration de ressources restera par conséquent possible en dehors du périmètre du dépôt, de même que leur exploitation à une distance de sécurité appropriée. L'espace restreint occupé par un dépôt profond réduit également la probabilité de le percer par inadvertance. Qui plus est, les conteneurs de stockage pour DHA représentant moins de 2 % de la surface effective du dépôt, le risque que l'un de ces conteneurs soit percé par accident dans un avenir lointain est très faible. Ces réflexions sont importantes pour le cas, improbable, où l'existence d'un dépôt en couches géologiques profondes viendrait à être oubliée et que la technique de forage soit néanmoins suffisamment avancée. Et même si un conteneur de stockage renfermant des assemblages combustibles usés venait à être percé dans un dépôt profond*, le rayonnement auquel serait exposée la population resterait, même dans les cas les plus défavorables, encore en-deçà du critère de protection stricte de l'IFSN (voir glossaire) et donc nettement inférieur à la radioactivité naturelle.

* Pour la démonstration de la faisabilité du stockage géologique des DHA (voir rapport technique NTB 02-05), la Nagra a examiné différents scénarios de percement accidentel de conteneurs de stockage pour DHA dans le dépôt; les calculs des doses ont été complétés dans le cadre du Forum technique sur la sûreté (voir page 8 «Pour en savoir plus», réponse à la question 114).

L'IFSN a confirmé les points suivants lors du Forum technique sur la sûreté:
Il appartient à la société de prendre une décision en cas de conflits d'utilisation prévisibles. Une fois un dépôt en profondeur construit, le site doit être protégé contre d'autres utilisations par un périmètre de protection selon l'art. 40 de la loi sur l'énergie nucléaire.

La Confédération est en outre tenue d'assurer la disponibilité dans le temps des informations sur le dépôt et sur le périmètre de protection.

Glossaire / remarques

Critère de protection 1 de l'IFSN: La dose de rayonnement additionnelle à laquelle la population peut être exposée en raison d'un dépôt en couches géologiques profondes ne doit pas dépasser 0,1 millisievert par année. Cette dose correspond à environ un cinquantième de l'exposition moyenne par année d'une personne habitant en Suisse.

Domaine d'implantation géologique: Défini par les formations rocheuses géologiques qui se prêtent au stockage de déchets radioactifs dans le sous-sol.

Dépôt en couches géologiques profondes: Les différents éléments d'un tel dépôt comprennent une installation de surface, des ouvrages d'accès (tunnel d'accès, puits d'accès) et l'espace souterrain réservé au stockage. Situé dans l'Argile à Opalinus, ce dernier accueille des déchets de haute activité (DHA) ou des déchets de faible et de moyenne activité (DFMA).

Roche carbonatée: Roche essentiellement sédimentaire, dont font partie les calcaires et les dolomies. Elle résulte de la précipitation chimique issue d'eaux carbonatées ou de la sédimentation d'organismes (coquilles, carapaces, squelettes).

Périmètre de dépôt: Définit la zone de la roche d'accueil dans le sous-sol d'un domaine d'implantation géologique la plus appropriée pour l'aménagement du dépôt profond du point de vue de la sûreté.

Degré de maturité: Degré de transformation de la matière organique (restes végétaux, plancton, etc.) en pétrole ou en gaz naturel. Cette transformation s'accomplit sous l'effet de la température et de la pression.

Phénomène de tassement: L'exploitation de grands gisements conventionnels peut entraîner le tassement des couches rocheuses situées au-dessus. De tels tassements n'ont encore jamais été observés dans le cas d'une extraction de gaz de grès denses et cimentés (gisements non conventionnels de gaz).



www

Pour en savoir plus

- Rapport technique NTB 14-02 «SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage – Geologische Grundlagen, Dossier VII: Nutzungskonflikte» (en allemand)
- Forum technique sur la sécurité de l'IFSN (<https://www.ensi.ch/fr/forum-technique-surete/>); Questions et réponses, 128 «Conflits d'utilisation», 114 «Geothermiebohrung ins geologische Tiefenlager», 124 «Nutzungskonflikt Geothermie» et 125 «Kriterien zur Anwesenheit von Kohlenwasserstoffen im Untergrund eines Lagerstandortes SMA und HAA»
- Rapport de travail NAB 14-70 «Potenzial der Kohlenwasserstoff-Ressourcen in der Nordschweiz» (en allemand)
- Rapport de travail NAB 14-18 «Temperaturkarten für definierte Horizonte im Untergrund der Nordostschweiz» (en allemand)
- Brochure «Standortgebiet Jura Ost – Geologie, Grundwasser» (en allemand)

Vous trouverez ces documents sur le site www.nagra.ch → Téléchargement/Publications.

Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs

Hardstrasse 73
Case postale 280
CH-5430 Wettingen

Tél. 056 437 11 11
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch

nagra ●