

laboratoire souterrain du mont terri

Visitez le Laboratoire
souterrain du Mont Terri

recherches en vue d'un
stockage sûr des déchets
radioactifs en couches
géologiques profondes

nagra



Un laboratoire implanté dans des roches argileuses

A 300 mètres de profondeur

Le Laboratoire souterrain du Mont Terri se trouve au nord de St-Ursanne dans le canton du Jura, à une profondeur d'environ 300 mètres. On y accède par la galerie de sécurité du tunnel autoroutier du Mont Terri (Transjurane). Le laboratoire comprend 600 mètres de galeries creusées dans l'Argile à Opalinus.

Suite aux premières expériences réalisées en 1996 dans huit petites niches situées le long de la galerie de sécurité, une galerie de recherche indépendante a été percée en 1998, puis agrandie successivement en 2004, 2008 et 2012. Le laboratoire souterrain est exclusivement utilisé à des fins de recherche; il n'est pas question d'y stocker des déchets radioactifs.

Une roche sédimentaire marine

Au cours de la période jurassique il y a environ 173 millions d'années, l'Argile à Opalinus s'est formée par sédimentation de fines particules de boue au fond de la mer. La formation de la chaîne du Jura remonte à une dizaine de millions d'années et s'est accompagnée d'un important plissement (anticlinal) en direction du nord-ouest, sur les couches du Jura tabulaire de l'Ajoie. Dans la zone du laboratoire souterrain, les strates présentent

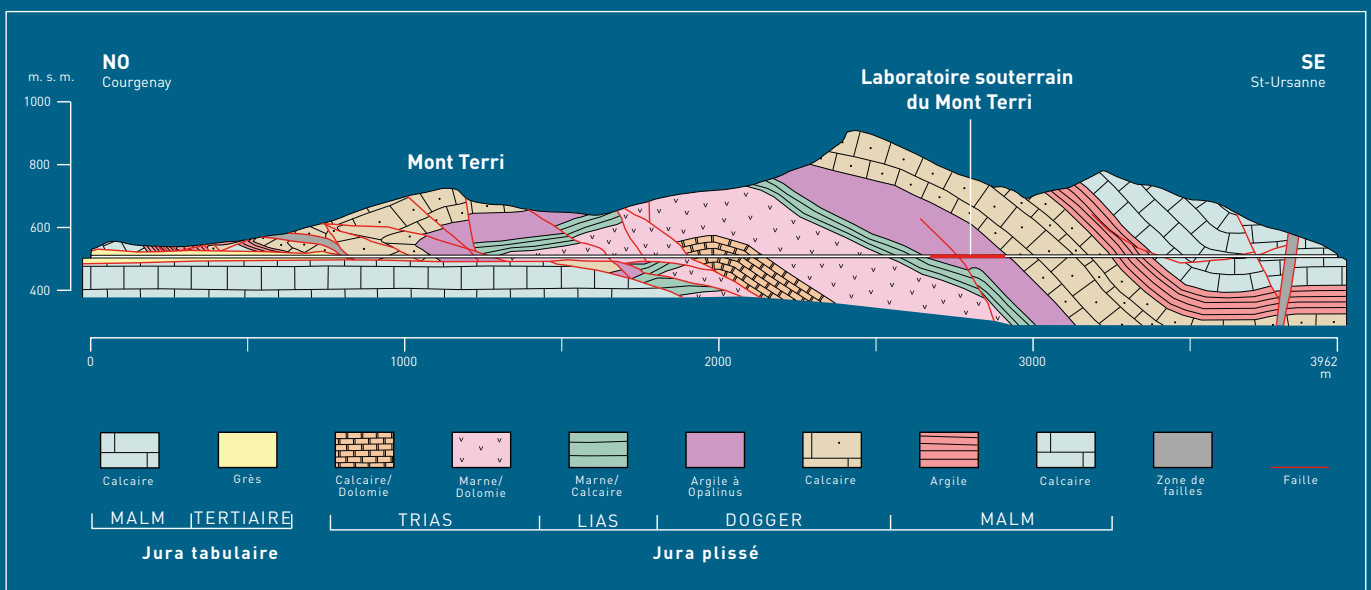
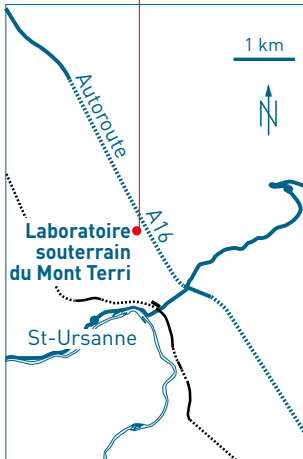
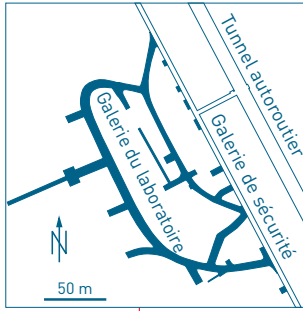
ainsi une inclinaison de 35 à 45 degrés vers le sud-est et sont décalées par de petites failles. Au Mont Terri, l'Argile à Opalinus atteint une épaisseur d'environ 150 mètres. L'Argile à Opalinus contient 40 à 80 pour cent de minéraux argileux, dont dix pour cent sont expansifs: en cas d'infiltration d'eau, la roche augmente de volume, favorisant ainsi l'auto-colmatage des petites fissures. Quartz, calcite, feldspath, sidérite et pyrite y sont également présents.

De l'eau de mer

L'Argile à Opalinus est très peu perméable et les eaux interstitielles y sont pratiquement immobiles. Les analyses montrent que jusqu'à 20 grammes de sels sont dissous dans chaque litre d'eau interstitielle. Les porosités fines de cette roche contiennent encore une part d'eau de mer datant de nombreux millions d'années. Notons à titre de comparaison que l'eau de mer actuelle contient 37 grammes de sels par litre.

Technique de construction

La stabilité des roches argileuses étant souvent insuffisante lors du creusement des galeries, les parois de ces dernières ont été renforcées par des tirants d'ancrage et du béton projeté.



Profil géologique suivant le tunnel autoroutier du Mont Terri, long d'environ quatre kilomètres

Les projets au Laboratoire souterrain du Mont Terri

Expériences

1 – Compréhension des processus se déroulant dans l'Argile à Opalinus non perturbée

DR-A/DR-B Diffusion et rétention de radionucléides

DS Tensions de la roche

HT Diffusion d'hydrogène dans l'argile

PC-C Etats d'équilibre entre eaux interstitielles et gaz dissous

SM-C Surveillance sismique souterraine

SO/VA Sédimentologie de l'Argile à Opalinus, variabilité des structures sédimentaires

2 – Expériences dans la roche argileuse perturbée

CD Déformations cycliques, auto-colmatage des fissures

DM-A, DM-B Mesures des déformations à long terme autour des forages

EZ-B Fracturation dans la zone perturbée par les excavations

HG-A, HG-D Voies d'écoulement gazeux dans la roche et le long des zones de colmatage, transport de gaz

MA Expériences microbiologiques

SE-H/TIMODAZ Auto-colmatage des fissures dans la zone perturbée par les excavations

3 – Expériences liées au fonctionnement d'un dépôt profond ou à la période suivant sa fermeture

CI, BN Interaction ciment-argile, interaction bitume-nitrate-argile

FE Essai de mise en place des déchets à l'échelle réelle avec trois corps de chauffe, mesure à long terme du dégagement de chaleur dans la roche et saturation

HE-E Essai de chauffe in situ dans différents mélanges sable-argile

IC, IC-A Expériences de corrosion

MO Mise au point des techniques de mesure pour la surveillance à long terme d'un dépôt profond

Plateforme de recherche internationale

Des recherches internationales sont menées au Laboratoire souterrain du Mont Terri depuis 1996. L'Office fédéral de topographie (swisstopo) exploite l'installation et dirige le projet Mont Terri.

De nombreuses organisations d'Allemagne, de Belgique, du Canada, d'Espagne, des Etats-Unis, de France, du Japon et de Suisse participent aux projets de recherche. Différents autres pays considèrent aussi les argiles comme des roches d'accueil potentielles pour les dépôts en couches géologiques profondes. On désigne par le terme de roche d'accueil le milieu géologique dans lequel les galeries de stockage des déchets radioactifs seront construites.

Les partenaires du projet se rencontrent régulièrement pour échanger des informations et partager les résultats des expériences en cours. La décision de participer aux expériences est renouvelée chaque année.

Une savoir-faire pour tous

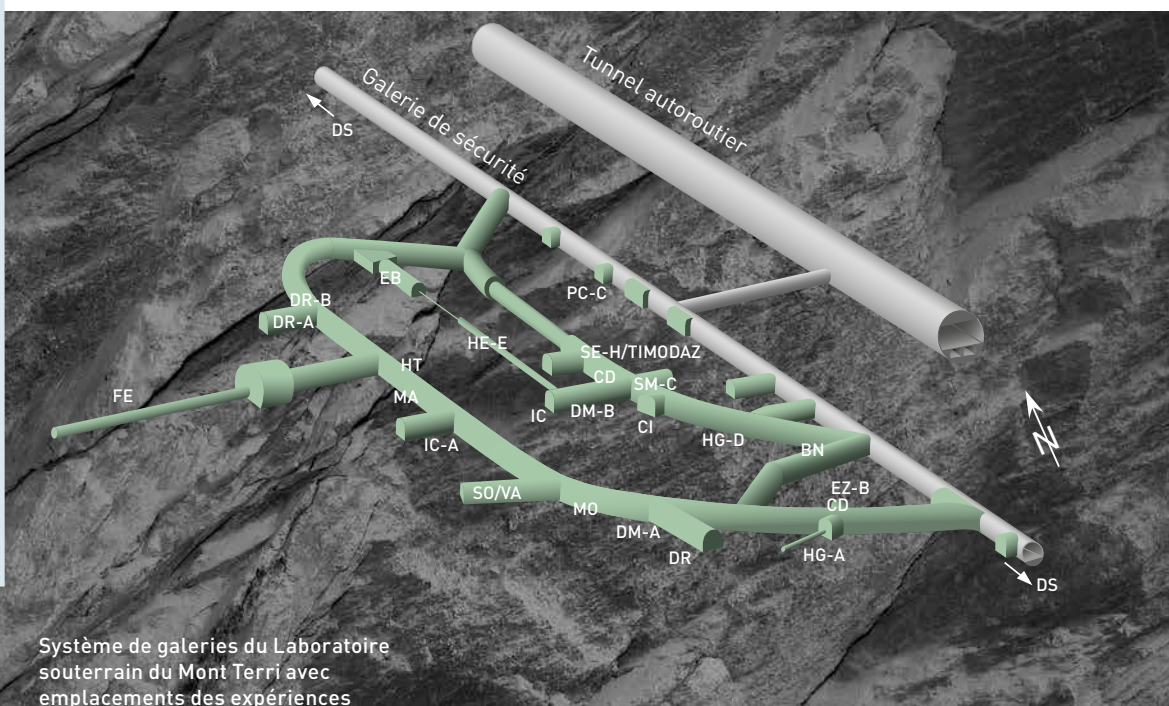
Le savoir-faire acquis au Mont Terri pourra à l'avenir aussi être partagé avec d'autres branches de la recherche, dans le contexte par exemple de la géothermie ou du stockage de gaz.

Recherche et développement

Les expériences réalisées au Laboratoire souterrain du Mont Terri se concentrent sur trois axes et objectifs principaux:

1) Mise au point des méthodes

La percolation d'eau à travers les roches argileuses étant pratiquement nulle, il faut mettre au point des méthodes d'essais hydrogéologiques et programmes spéciaux pour évaluer les résultats des mesures. Cela concerne par exemple la mesure des pressions interstitielles, la détermination de la perméabilité et le prélèvement d'échantillons d'eau. Pour réaliser des forages stables et prélever des carottes intactes dans les roches argileuses, les techniques de forage et de carottage doivent être adaptées et améliorées. Les méthodes couramment utilisées aujourd'hui dans les roches cristallines pour déterminer les champs de contrainte dans la roche et autour des galeries ne sont que partiellement applicables dans les formations argileuses et doivent donc être perfectionnées. Les processus combinés (influences réciproques de la température, de la teneur en eau et des champs de contrainte par exemple) sont de nouveaux défis pour les méthodes d'analyse des processus étudiés au laboratoire souterrain.



Système de galeries du Laboratoire souterrain du Mont Terri avec emplacements des expériences

2) Caractérisation de l'Argile à Opalinus

La capacité de confinement de l'Argile à Opalinus est déterminée par ses propriétés physiques et chimiques, en particulier au regard de la perméabilité, de la capacité d'auto-colmatage et du comportement de diffusion des radionucléides.

Si de l'humidité s'introduit dans les failles de décompression, l'Argile à Opalinus gonfle. Ainsi les fissures qui se sont formées pendant le creusement de la galerie se referment. Cet auto-colmatage réduit la perméabilité et rétablit des valeurs analogues à celles d'une roche non perturbée. Ce processus fait l'objet de diverses expériences.

Le comportement de diffusion des radionucléides et la capacité de rétention ont été par exemple étudiés dans le cadre de l'expérience DR. Dans un forage de petites dimensions, un intervalle de test délimité a été saturé en eau; on y a ajouté une quantité contrôlée de substances de marquage (par ex. du tritium). Au bout d'une année, on a procédé à un surcarottage du forage initial, puis on a analysé cette nouvelle carotte plus grande, pour mesurer jusqu'où les substances de marquage s'étaient infiltrées dans la roche. On a observé que les radionucléides «non adhérents» (par ex. le tritium) s'étaient

propagés plus rapidement que les radionucléides fortement «adhérents» (par ex. le césium ou le cobalt), tels qu'on les trouverait dans un dépôt profond pour déchets de haute activité. Notons que l'activité des radionucléides utilisés ici était bien en dessous de la limite d'exemption.

3) Expériences de démonstration

Ces expériences permettent de tester les procédés de mise en place des conteneurs de déchets dans le dépôt et s'inscrivent dans le cadre de la démonstration de la faisabilité d'un dépôt en couches géologiques profondes.

L'expérience FE (voir photos ci-dessous) est un exemple avancé de ce type d'essai. Le concept d'emménagement des éléments combustibles usés y est vérifié à l'échelle réelle. La chaleur des conteneurs de déchets émise par la décroissance radioactive est simulée par des corps de chauffe. Pendant plusieurs années, on observera la manière dont les matériaux de remplissage et la roche se comportent sous l'effet de la température.

De telles expériences de démonstration permettent en outre d'expliquer concrètement aux visiteurs le concept du stockage en couches géologiques profondes.

Diffusion

Dans un espace où des substances gazeuses ou dissoutes sont concentrées de manière inégale, le processus de diffusion se poursuit jusqu'à ce qu'un état d'équilibre soit atteint.

Radionucléides

Chaque élément chimique renferme des atomes stables et des atomes qui se désintègrent spontanément (radioactifs). Les atomes radioactifs sont aussi appelés radionucléides.

Limite d'exemption

La loi fixe une limite pour la valeur d'activité des substances radioactives pouvant être utilisées sans autorisation spéciale.

La recherche aujourd'hui

Vous trouverez des informations sur les expériences réalisées actuellement sous www.mont-terri.ch.



Le Laboratoire souterrain du Mont Terri propose des visites guidées gratuites tout au long de l'année.



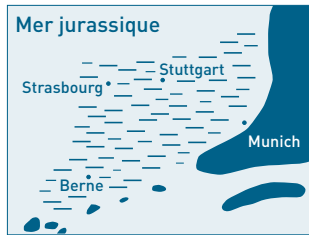
Mise en place de l'expérience de démonstration FE au Laboratoire souterrain du Mont Terri
En haut – Blocs de bentonite utilisés comme socles des conteneurs d'essai
En bas – Machine utilisée pour le remblayage des galeries dans l'expérience FE



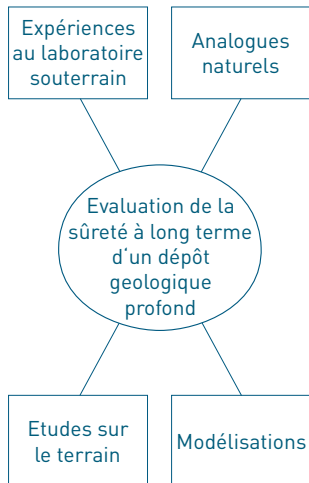
Questions – Réponses

Qu'est-ce que l'Argile à Opalinus?

C'est une roche argileuse formée il y a environ 173 millions d'années par sédimentation dans une mer peu profonde du jurassique. On trouve dans l'Argile à Opalinus de nombreux fossiles de l'ammonite «Leioceras opalinum», appelée ainsi en raison de sa coquille opalescente.



— Répartition géographique de l'Argile à Opalinus



Pourquoi a-t-on besoin d'un laboratoire souterrain?

Un laboratoire souterrain offre des conditions d'expériences plus réalistes qu'un laboratoire conventionnel. Les expériences peuvent y être réalisées à l'échelle réelle et fournir des informations essentielles quant à la faisabilité et la sûreté d'un dépôt en couches géologiques profondes. Mais les laboratoires souterrains à eux seuls sont insuffisants. Pour évaluer la sûreté à long terme d'un dépôt profond (analyses de sûreté), on a besoin aussi d'observations d'analogues naturels, de modélisations et d'analyses des sites d'implantation.

Comment se déroule une expérience?

La faisabilité d'un concept d'expérimentation est analysée d'abord à l'aide de calculs pronostiques. S'il ressort clairement que cet objectif ne peut être atteint par des expériences en laboratoire con-

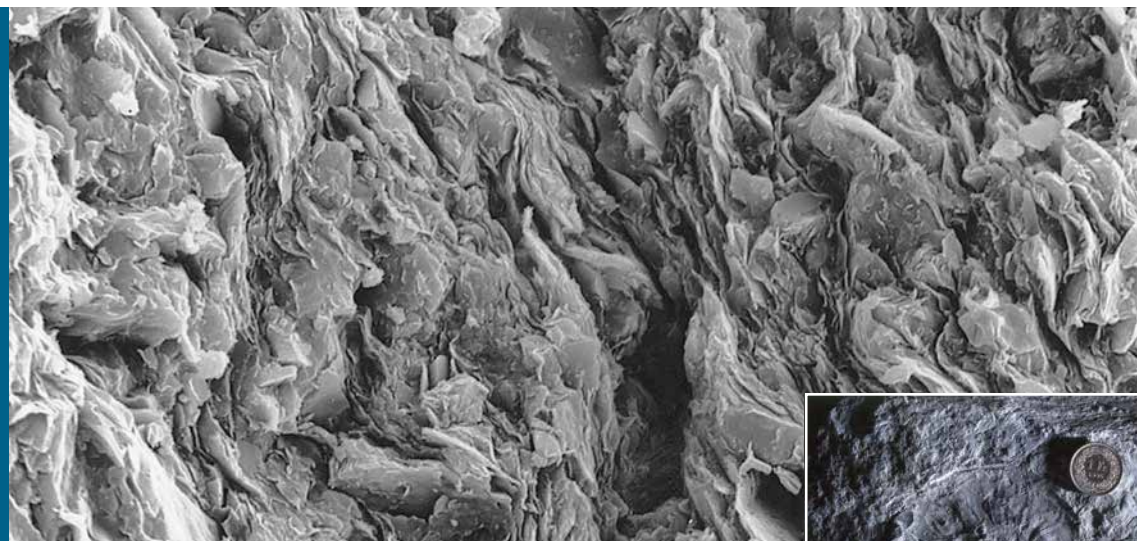
ventionnel, on fixe un emplacement du laboratoire souterrain où se déroulera l'essai. Avant d'entamer les tests, on décrit sur place les conditions initiales et l'environnement dans lequel ils vont se dérouler. C'est ensuite seulement que pourront commencer les activités de forage, d'instrumentation et de mesure. Après plusieurs mois ou années, les résultats seront évalués, interprétés et comparés aux pronostics.

Pourquoi étudier l'Argile à Opalinus?

L'Argile à Opalinus présente plusieurs propriétés favorables à la sûreté d'un dépôt en couches géologiques profondes: bonne capacité de confinement, très faible perméabilité à l'eau et transport essentiellement diffusif des substances dissoutes. La structure homogène, la rétention des radionucléides par sorption à la surface des minéraux argileux ainsi que la capacité d'auto-colmatage de failles et de fissures par gonflement constituent d'autres avantages.

Peut-on visiter le laboratoire souterrain?

Tout au long de l'année, des visites guidées sont organisées pour les groupes dès dix personnes. Adressez-vous à: Renate Spitznagel, Tél. +41 (0)56 437 12 82 renate.spitznagel@nagra.ch



Grande image – Argile à Opalinus observée au microscope électronique à balayage: les minéraux argileux sous forme de plaquettes sont des particules actives en surface et peuvent fixer des molécules d'eau et des particules de polluant (largeur de l'image d'env. 0,07 mm).
Petite image – Empreinte du fossile «Leioceras opalinum» qui a donné son nom à l'Argile à Opalinus.

Direction de projet

Office fédéral de topographie (swisstopo)



Partenaires de projet



swisstopo Office fédéral de topographie
IFSN Inspection fédérale de la sécurité nucléaire
NAGRA Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs



SCK•CEN Studiecentrum voor Kernenergie • Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire
FANC Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle



BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
GRS Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH



ANDRA Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs
IRSN Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire



OBAYASHI Obayashi Corporation
JAEA Japan Atomic Energy Agency
CRIEPI Central Research Institute of Electric Power Industry



NWMO Nuclear Waste Management Organisation



ENRESA Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S. A.



US DOE U.S. Department of Energy
CHEVRON Chevron Energy Technology Company

Cofinancement d'expériences sélectionnées



UE Union européenne

Organisme de recherche de soutien



PSI Institut Paul Scherrer

Propriétaires des roches, autorisations



RCJU République et Canton du Jura
DEN Département de l'environnement

Société coopérative nationale
pour le stockage
des déchets radioactifs

Hardstrasse 73
Postfach 280
CH-5430 Wettingen

Tél. +41 (0)56 437 11 11
Fax +41 (0)56 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch
www.mont-terri.ch

nagra

Edition revue et corrigée: décembre 2017
Photos: © Comet Photoshopping Dieter Enz; Nagra Wettingen;
Maria Schmid

