

D'atoms for peace à Fukushima: la fin d'un mythe?

Filière nucléaire : vers la fin d'un cycle industriel ?

Risques à moyen et long terme liés au stockage des déchets nucléaires:

Le cas de la Suisse

Walter Wildi



FACULTE DES SCIENCES, UNIVERSITE DE GENEVE
Section des sciences de la Terre et de l'environnement
Institut F.A. Forel
Institut des sciences de l'environnement

Table des matières

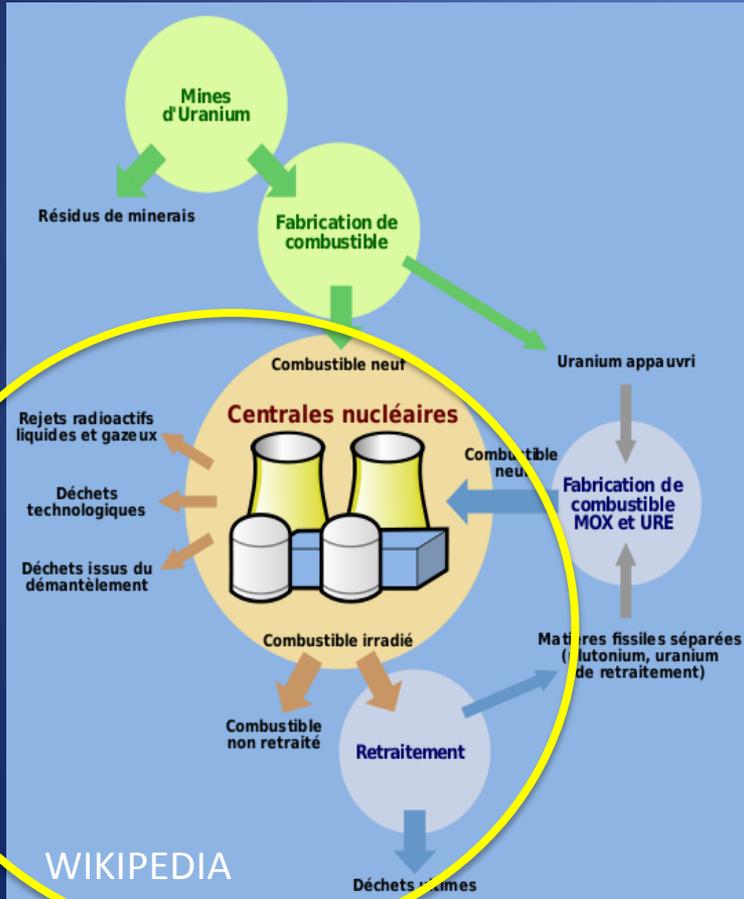
- 1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse**
- 2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques**
- 3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond**
- 4. Conclusions**

1. Introduction : Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse*

* (à la « sortie du nucléaire »)

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

Centrales nucléaires suisses et déchets radioactifs:



PREVISIONS POUR UNE DUREE D'EXPLOITATION DE 50 ANS

DHA, combustible irradié et déchets vitrifiés	7'300 m ³
DFMA, exploitation et démantèlement des centrales	60'000 m ³
DFMA, industrie, médecine et recherche	33'000 m ³
TOTAL	ca. 100'000 m³

DHA = Déchets de haute radioactivité

DFMA = Déchets de faible et moyenne radioactivité

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

Solutions envisagées pour l'élimination des déchets nucléaires:

- **Immersion en mer**, env. 1960 à 1982

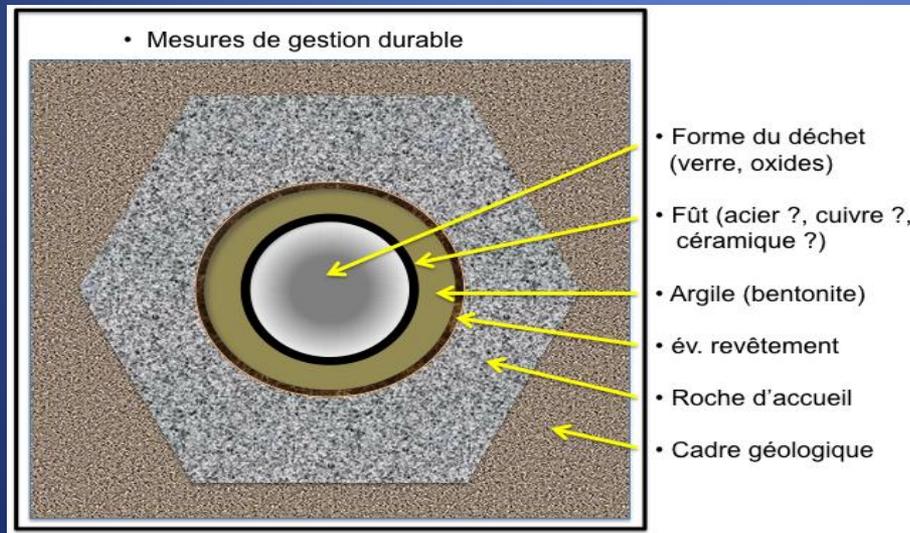
- **Elimination dans l'espace** (-> coût élevé, risque de rechute des porteurs)
- **Enfouissement dans les sédiments océaniques** (-> érosion par des courants marins)
- **Elimination dans les zones de subduction** (-> risque de volcanisme)
- **Transmutation, transformation** (-> actuellement au stade de la recherche)
- **« Gardiennage en surface »** (-> risques d'inondation, séisme, vieillissement, guerre, terrorisme . . .)
- et bien d'autres

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

Le concept actuel des barrières multiples

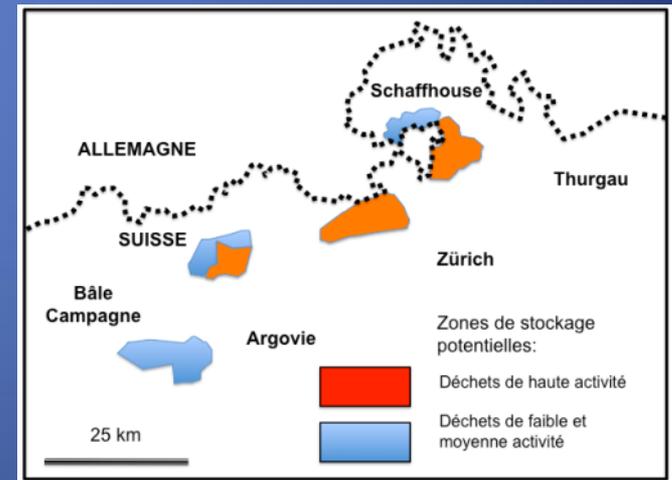
Isolation des déchets radioactifs par des barrières techniques et géologiques; mesures de gestion: application en Suisse

Concept des barrières multiples



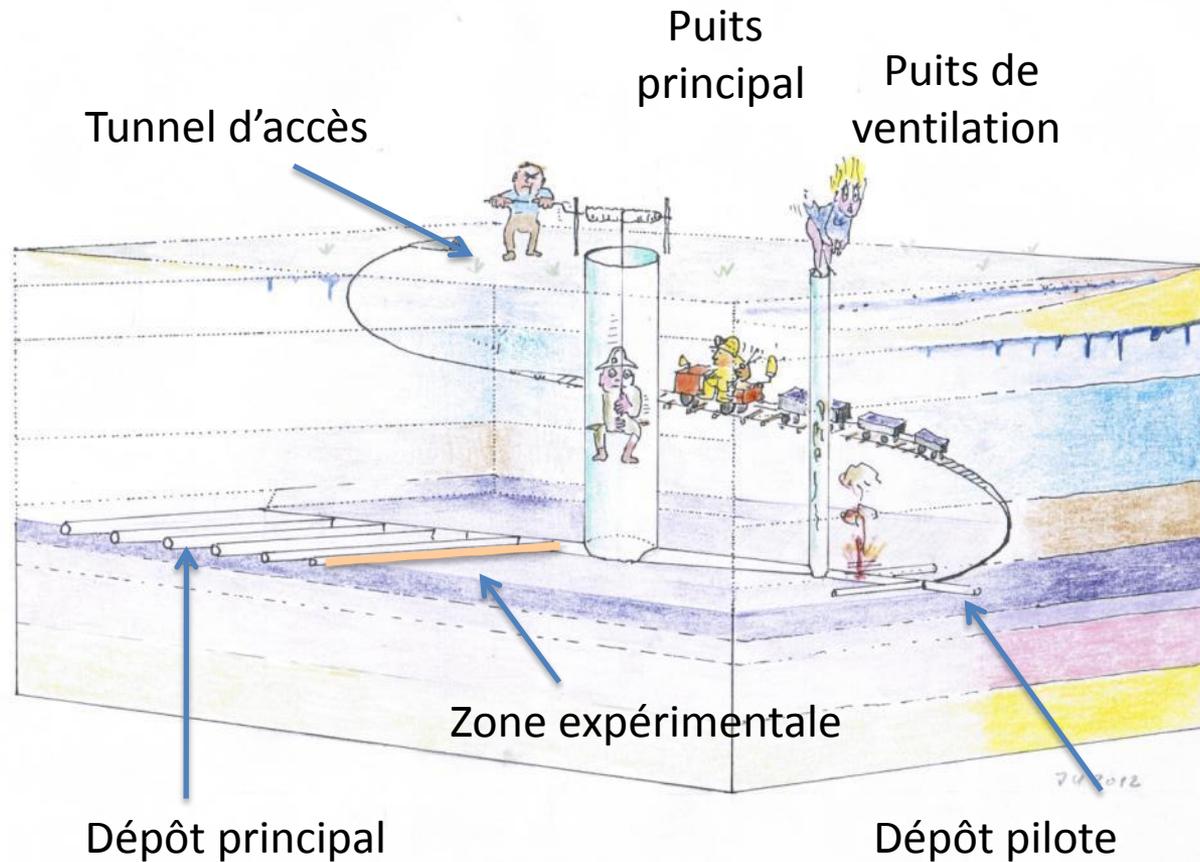
Modifié d'après EKRA 2000

Zones de stockage potentielles dans les Argiles à Opalinus

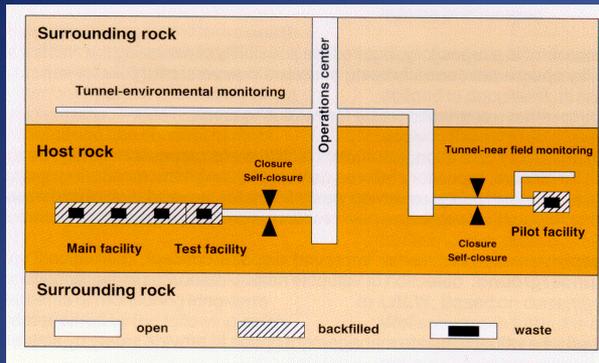


Modifié d'après NAGRA.ch

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse



- Installations de surface
- Installations d'accès
- Installations de stockage



1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse

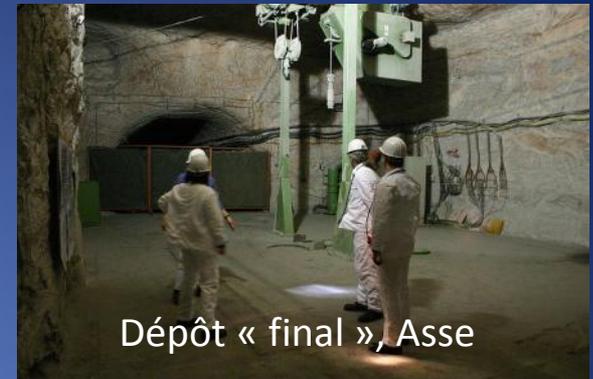
Installations de stockage

Dépôt principal, cavernes de stockage : elles sont creusées dans la roche d'accueil (dans le NE de la Suisse : les Argiles à Opalinus) et reçoivent les déchets conditionnés et placés dans des fûts. Ces cavernes sont ensuite comblées par de la bentonite, un matériel argileux de provenance volcanique, qui peut absorber l'eau qui pénètre dans la caverne, qui gonfle à cette occasion et forme une barrière de très faible perméabilité contre la circulation d'eau (et éventuellement de gaz). Après leur comblement, les cavernes sont scellées. La Nagra (2008) prévoit l'installation d'un dépôt de déchets faiblement et moyennement actifs à **300 à 500 m** et un dépôt de déchets hautement radioactifs à **400 à 900 m** de profondeur.

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse



Dépôt final, Morsleben



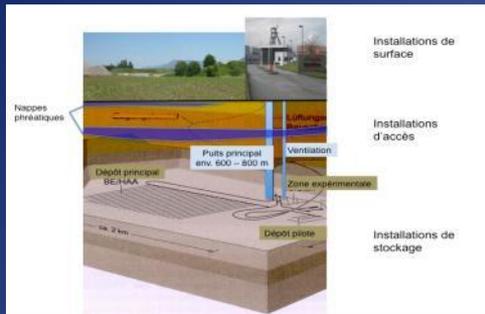
Dépôt « final », Asse

Installations de stockage

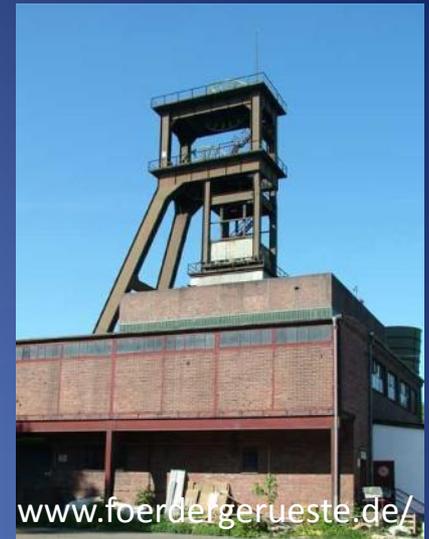
Dépôt principal, installations de service : elles permettent l'accueil et le transport des déchets et du matériel de comblement à l'intérieur de la mine.

La zone expérimentale, destinée à valider les paramètres de la roche d'accueil et les différentes mesures techniques nécessaires à la sécurité du dépôt. Cette zone constitue un laboratoire souterrain, équipé de différents instruments de mesure et de surveillance.

Le dépôt pilote, permet d'observer le comportement des déchets pendant une période plus ou moins longue (non déterminé par la loi), mais probablement d'au moins 150 – 200 ans. Ce dépôt reçoit une quantité représentative de déchets, stockés dans des cavernes équipées de senseurs ; il permet ainsi de suivre l'évolution du site et l'état des déchets, soit pour valider les modèles de sécurité, soit pour déterminer les conditions d'un retrait éventuel.



1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse



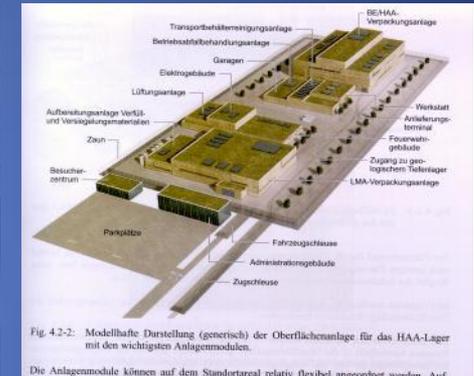
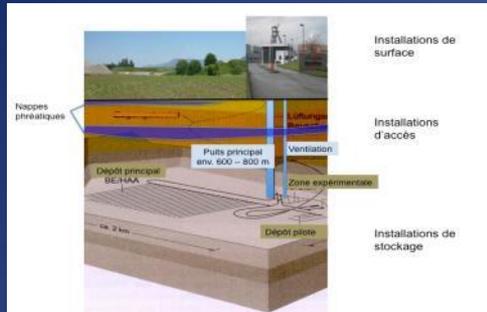
Installations d'accès et de ventilation

Les mines souterraines disposent obligatoirement de **deux ouvertures ou accès** vers la surface :

Un puits principal (ou éventuellement un tunnel d'accès), permettant l'évacuation des roches et des minerais dans le cas d'une exploitation, respectivement le transport des déchets et des matériaux de comblement dans le cas d'un site de stockage de déchets. Ce puits sert également à l'entrée de l'air de ventilation.

Un puits ou une galerie de ventilation, assurant l'extraction de l'air de ventilation et, en cas de feu, de la fumée.

1. Introduction: Installations nécessaires à un dépôt géologique profond en Suisse



Installations de surface

destinées aux différents **services de la mine** et **au transbordement des déchets** du transport routier ou ferroviaire vers la mine. Le projet actuellement étudié par la Nagra prévoit par ailleurs des installations de conditionnement de déchets sur ce site (« **hotlab** »).

2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques

2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques

La phase de construction:

10 – 20 ans

Pendant cette phase on verra évoluer un **grand chantier**, semblable à un chantier de tunnel routier ou ferroviaire, avec les risques propres à ce genre d'opération et d'ouvrage. Aucune substance radioactive ne sera manipulée sur site et l'expérience existante permet de croire à une maîtrise des risques.

2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques

La phase d'exploitation (peu explorée!) 150 – 200 ans ?

- La **zone expérimentale** sera en fonction
- Le dispositif de surveillance du **dépôt pilote** sera actif.
- Les **cavernes d'entreposage** seront creusées au fur et à mesure, les déchets mis en place et les cavernes refermées.
- Les **accès** aux installations de service, à la zone expérimentale et au dépôt pilote seront **ouverts** et **devront être consolidés et protégés contre l'intrusion** d'eau. Cette exigence concerne donc les vides miniers creusés dans la roche d'accueil, les Argiles à Opalinus, dont la stabilité peut être considérée comme bonne dans un état sec, mais qui risquent d'être endommagés rapidement par l'eau, ou même de s'effondrer en cas d'inondation.
- A la fin de cette phase, soit les installations seront définitivement fermées et scellées pour le stockage final, soit les déchets seront récupérés et les installations comblées et fermées.

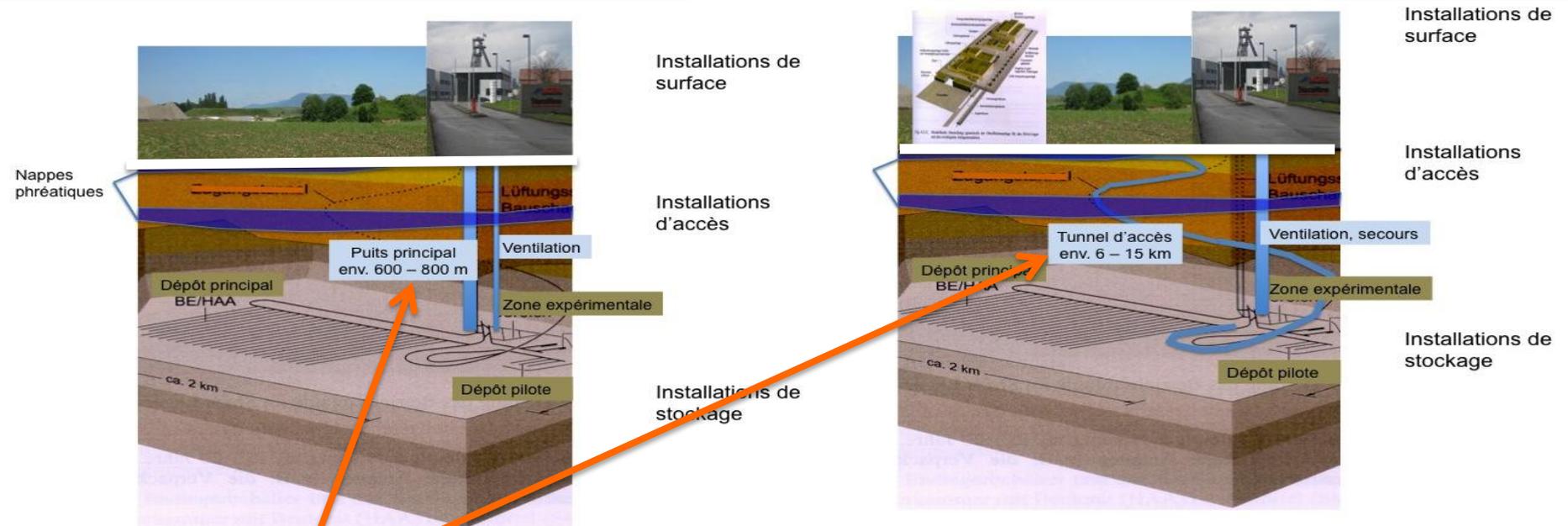
2. Périodes à considérer dans le cadre d'une analyse de risques

La phase de stockage final (bien étudiée) $10^3 - 10^6$ ans

-> soit la durée nécessaire à l'obtention d'un niveau suffisamment bas de la radioactivité des déchets. Pendant cette phase, l'eau contenue dans la roche d'accueil s'infiltrera dans le remplissage de bentonite des cavernes de stockage désormais fermées et entrera en contact avec les futs contenant les déchets nucléaires. En fonction des conditions chimiques et notamment de l'oxygène contenu dans le milieu souterrain, il est admis que la corrosion pourra attaquer les futs et mobiliser éventuellement des substances radioactives. Des modèles de flux ou de dispersion de ces substances à travers la roche d'accueil, puis de l'entourage géologique, permettent d'estimer l'exposition potentielle au rayonnement ionisant d'une population consommant l'eau et les produits agricoles locaux de la région entourant le dépôt profond.

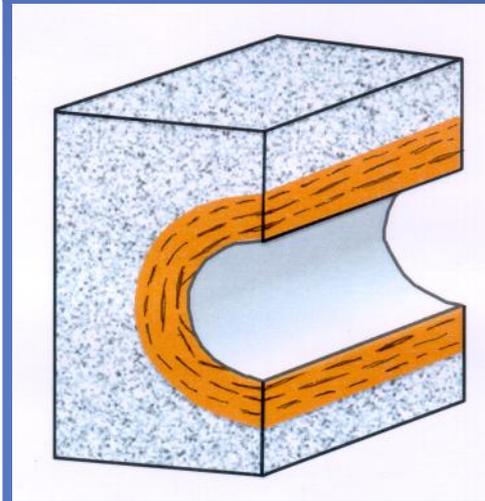
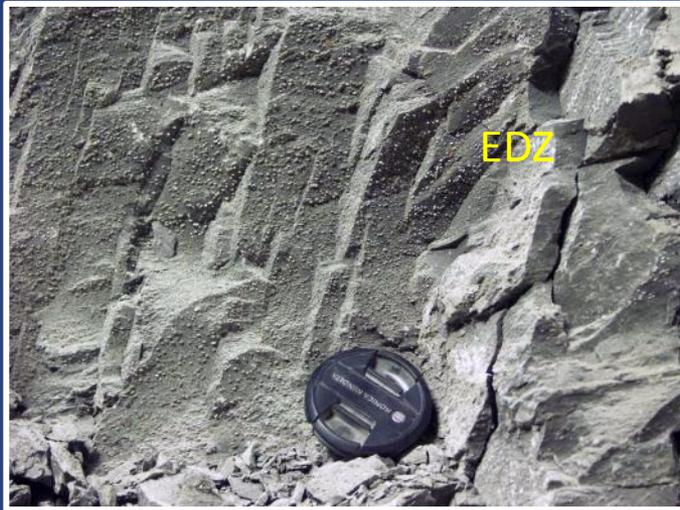
3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond

3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond



1. Les voies d'accès constituent des **drains d'infiltration d'eau**
 - Infiltration d'eau et risques d'inondation \pm proportionnels à la longueur de l'ouvrage

3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond



← Zone à microfractures
← EDZ

www.mont-terri.ch/

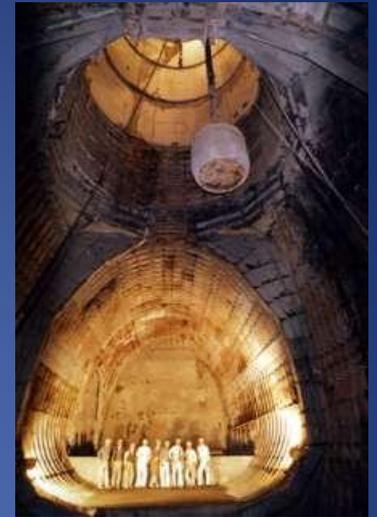
D'après NWMO DGR-TR-2011-21

1. Les voies d'accès constituent des **drains d'infiltration d'eau**
 - Infiltration d'eau et risques d'inondation \pm proportionnels à la longueur de l'ouvrage
 - Drainage par les **EDZ** (zones de perturbation due au creusement des cavernes) et les **failles**

3. Minimiser les risques : exemple des voies d'accès au dépôt géologique profond



Stockamine, Alsace:
effondrement d'une
galerie de stockage de
déchets chimiques



2. Les puits verticaux ont une **espérance de vie** supérieure à celle des cavernes horizontales

4. Conclusions

4. Conclusions

1. Le concept des **multi-barrières** en milieu continental est la stratégie d'élimination privilégiée à l'échelle globale pour le stockage des déchets nucléaires.
2. En Suisse, la sélection de sites est actuellement en cours dans le cadre du plan sectoriel "Dépôts en couches géologiques profondes". A ce propos, les conclusions suivantes peuvent être tirées :
 - a) L'analyse des risques du projet de stockage géologique se décline selon **trois phases** : phase de construction (env. une décennie), phase d'exploitation (env. 150 – 200 ans), phase de stockage (milliers à centaines de milliers d'années).
 - b) Les risques liés à la première phase sont comparables à ceux d'un grand chantier de génie civil conventionnel ; on peut les considérer comme gérable.
 - c) La troisième phase, la plus longue dans le cadre du projet de stockage, et c'est également la phase la plus étudiée.

5. Conclusions

- d) La phase d'exploitation est la moins étudiée et c'est elle qui comporte actuellement à priori les risques les moins maîtrisés : risques d'inondation et d'endommagement (écroulement) des installations ouvertes en cas d'accident ou de vieillissement des installations.
- e) Une optimisation de la conception des installations s'impose ; il s'agit avant tout de chercher les chemins les plus directs et les plus courts. La solution des puits répond mieux à cette exigence que celle de l'accès par un tunnel (une « rampe »).
- f) Plusieurs autres problèmes attendent une solution, parmi lesquels la minimisation de la matière organique dans les déchets de faible et moyenne radioactivité et le question du remplacement des fûts en aciers par d'autres matériaux pour les déchets de haute radioactivité.

N'enfouissons jamais un problème dans un dépôt
„final“; il remontera vite en surface!

Merci de votre attention