

Gestion des déchets radioactifs

La gestion des déchets radioactifs : le rôle du laboratoires souterrains

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays Membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus Membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1^{er} février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays Membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 27 pays Membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays Membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

© OCDE 2001

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France. Tél. (33-1) 44 07 47 70. Fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : <http://www.copyright.com/>. Toute autre demande d'autorisation ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

AVANT-PROPOS

Le Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC) réunit des représentants à haut niveau des agences de gestion des déchets, des autorités de sûreté, des organes de décision et des établissements de R-D travaillant dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs. Le RWMC a une fonction de coordination des programmes internationaux, car il constitue un lieu privilégié pour les échanges d'expérience, la recherche du consensus sur les évolutions récentes et la mise au point d'outils. Grâce à son pool de spécialistes, il est en mesure d'assurer en temps opportun des expertises qui font autorité. De cette manière, il aide les pays Membres de l'AEN à trouver des solutions à leurs problèmes de gestion des déchets radioactifs et s'attache à promouvoir la sûreté de leur gestion à court et à long terme.

Ce rapport a été préparé pour le compte du RWMC. Bien que rédigé par des experts techniques, il s'adresse à un public élargi de décideurs mais aussi à toute personne intéressée par le sujet. Il explique en quoi consistent : les laboratoires de recherche souterrains, comment ils se différencient, leur localisation, les différents travaux de recherche et de développement qui y sont conduits, leur importance pour les programmes nationaux, les questions à se poser lorsque l'on décide de construire un laboratoire souterrain ainsi que les possibilités et avantages de la coopération internationale dans les laboratoires de recherche.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
1. Introduction	7
2. Intérêt général et description des laboratoires de recherche souterrains actuels	9
3. Les divers apports des laboratoires de recherche souterrains	21
4. Rôle stratégique et planification des laboratoires de recherche souterrains	31
5. Coopération internationale	39
6. Conclusions	41
Ouvrages recommandés	43
Acronymes	45

1. INTRODUCTION

Le concept de stockage géologique a été développé pour assurer une gestion sûre à long terme des déchets radioactifs à vie longue. Cela implique de mettre en place ces déchets dans des dépôts souterrains profonds qui garantissent le confinement des déchets dans des conditions de sécurité et de sûreté, et, ainsi la protection de l'homme et de l'environnement (*cf* AEN 2000a). Ce concept résulte de consultations variées incluant d'autres solutions. Les formations géologiques hôtes potentielles sont choisies en raison de leur stabilité à long terme et de leur capacité d'accueillir l'installation de stockage, de préserver les fonctions de sûreté à long terme et d'empêcher ou d'atténuer tout relâchement éventuel de radioactivité. Le système ouvragé vient renforcer la barrière géologique naturelle et assure un premier confinement physique et chimique des déchets. L'ensemble du système doit être doté d'une sûreté passive à long terme et, ainsi, représenter une charge minimale pour les générations futures. Cependant, à titre de précaution mais aussi pour garantir la sécurité des déchets et de l'installation, le site sera encore surveillé pendant une période de temps après la fermeture du dépôt.

Nombreux sont les pays membres de l'AEN dont les agences de gestion des déchets et les autorités de sûreté ont entrepris d'analyser les problèmes que posent la conception, la sûreté à long terme et la réalisation pratique de dépôts souterrains de déchets radioactifs. Il s'agit en effet de convaincre les agences de gestion, les autorités de sûreté, la communauté scientifique et technique en général, les décideurs publics mais aussi le grand public, de la faisabilité, de la sûreté et du bien-fondé de la solution trouvée. Ceci nécessite une démonstration pratique des éléments techniques fondamentaux et une crédibilité du processus de décision, à savoir le protocole suivi par les gestionnaires de déchets et la procédure d'instruction et d'autorisation des projets. En particulier, face à l'incertitude inévitable qui existe sur les prévisions du comportement de systèmes complexes, naturels ou ouvragés, sur des périodes longues, on a besoin d'arguments de nature à emporter la conviction de toutes ces parties que les projets de dépôts sont sûrs.

Tous les grands programmes nationaux de stockage des déchets radioactifs prévoient la construction d'une ou de plusieurs installations

souterraines consacrées à la caractérisation, aux essais, à la mise au point des technologies et/ou à des activités de démonstration. Ces installations, appelées de façon générique laboratoires de recherche souterrains, sont indispensables si l'on veut recueillir les informations scientifiques et techniques et l'expérience pratique nécessaires pour concevoir et construire des installations de stockage et, surtout, pour établir le dossier de sûreté qui doit être présenté aux diverses étapes du développement d'un stockage.

Ce document, fournit :

- la raison d'être des laboratoires souterrains dans les programmes d'aménagement de dépôt ;
- les divers types de laboratoires qui ont été mis au point ou sont prévus dans les pays Membres de l'AEN à ce jour ;
- les différentes fonctions de ces installations dans les programmes d'aménagement de dépôt et leurs contributions à l'établissement du dossier de sûreté ;
- des réflexions sur le moment opportun pour construire un laboratoire dans le cadre d'un programme national ;
- les possibilités et avantages de la coopération internationale.

2. INTÉRÊT GÉNÉRAL ET DESCRIPTION DES LABORATOIRES DE RECHERCHE SOUTERRAINS ACTUELS

Qu'est-ce qu'un laboratoire souterrain de recherche ?

Un laboratoire de recherche souterrain est une installation souterraine où l'on procède à des activités de caractérisations, essais, mises au point de technologies ou démonstrations en prévision de l'aménagement de dépôts de déchets radioactifs. Or, comme aucun dépôt ne peut se passer de travaux de caractérisation, tous les dépôts se classent automatiquement dans la catégorie des laboratoires de recherche souterrains, d'après la définition adoptée dans ce document. Un laboratoire pourra être une installation très élaborée construite expressément pour y mener d'importants programmes de recherche sur de longues années ou, une installation relativement simple partant d'excavations souterraines existantes où l'on procédera à des recherches très spécifiques. Ces laboratoires sont construits dans des roches jugées adaptées à l'aménagement d'un dépôt, dans le pays en question ou en général, telles que le granite, le sel, les argiles/schistes et le tuf volcanique. Ils peuvent être construits à des profondeurs situées entre quelques centaines de mètres et un millier de mètres, tel que proposées généralement pour le stockage des déchets ou à des profondeurs moindres.

Les laboratoires de recherche souterrains sont un moyen de comprendre les propriétés hydrologique, thermique, mécanique, chimique et biologique, et les mécanismes couplés, qui détermineront le comportement des barrières naturelle et ouvragées d'un dépôt géologique. Par ailleurs, ils permettent de mettre au point les technologies nécessaires à la construction, à l'exploitation et à la fermeture du dépôt ainsi que de faire la démonstration de la technologie et du concept de dépôt en général tant à l'intention des spécialistes que du grand public. Ils peuvent également servir à vérifier le comportement à long terme des barrières ouvragées et des systèmes de surveillance et à démontrer les technologies de reprise des déchets. Mais surtout, par rapport aux techniques d'investigation depuis la surface, un laboratoire de recherche souterrain offre un accès au milieu géologique dans des conditions représentatives de celles qui existeront dans un dépôt.

Une fois créé, le laboratoire peut devenir un pôle d'activités de recherche, de développement et de démonstration entreprises dans le cadre d'un programme spécifique lié à l'aménagement d'un dépôt. Il est également le vecteur de coopération internationale.

Intérêt général des laboratoires souterrains de recherche

Les laboratoires de recherche souterrains sont partie intégrante des programmes nationaux de stockage des déchets car ils permettent d'acquérir l'expérience, les connaissances et la confiance techniques essentielles, voire parfois vitales, pour les différents volets stratégiques sur lesquels repose le dossier de sûreté d'un dépôt de stockage définitif. La stratégie adoptée pour garantir la sûreté du dépôt et en apporter la démonstration, qui procède de la science et de la technique, comporte en effet trois volets interdépendants qui doivent d'abord être définis puis mis en œuvre :

- **Sélection du site de l'installation et conception du système de dépôt :** – installer le dépôt dans une masse rocheuse dotée de propriétés de confinement satisfaisantes, concevoir des conteneurs de longue durée de vie compatibles avec le milieu géologique et des barrières ouvragées robustes.
- **Support scientifique et technique :** – organiser et mener un programme rigoureux de recherches techniques et scientifiques afin de recueillir les informations nécessaires à la conception, vérifier les caractéristiques et évaluer les performances du système de stockage.
- **Évaluation de la sûreté :** – mettre au point des outils d'analyse du comportement et de la sûreté du stockage pour un ensemble de scénarios futurs possibles.

Bien que la terminologie puisse varier suivant les programmes, les activités conduites dans les laboratoires de recherche souterrains pour atteindre les objectifs ci-dessus pourraient se répartir comme suit :

- **caractérisation** – recherches *in situ* destinée à acquérir une connaissance de base des propriétés géologique, hydrogéologique, géochimique, structurale et mécanique de la roche hôte et de sa réponse à des perturbations imposées, ainsi qu'à recueillir les données nécessaires aux analyses de sûreté ;
- **expérimentation** – terme général recouvrant : l'évaluation de la performance des méthodes de caractérisation afin de juger de leur applicabilité et de leur fiabilité lors d'études ultérieures ; les essais

des matériaux de stockage, des méthodes d'excavation, etc. qui pourront être utilisés dans l'aménagement ; ainsi que des tests des modèles conceptuels et numériques qui servent à analyser le comportement du système de dépôt et/ou de ses composants ;

- **mise au point des technologies** – mise au point des équipements et techniques et acquisition de compétences dans les domaines de la caractérisation, de l'expérimentation, de la construction du dépôt, la mise en stockage (et de la reprise) des déchets, de la construction des barrières ouvragées et de la fermeture du dépôt ; et
- **démonstration** – illustration, en vraie grandeur ou à échelle réduite, et dans des conditions réelles et/ou simulant celles pouvant exister dans un dépôt, de la faisabilité de la conception du dépôt et du comportement et des performances des différentes composants du dépôt ; comme par exemple les démonstrations des techniques de scellement, de la mise en place et de reprise des déchets.

Cette dernière rubrique peut comprendre également des essais de stockage de déchets réels dans des installations bénéficiant des autorisations nécessaires. Par conséquent, les laboratoires de recherche souterrains peuvent se prêter à une diversité d'activités qui vont de la recherche fondamentale jusqu'au développement d'une installation pilote de stockage.

Types de laboratoires souterrains de recherche

Bien qu'il existe une continuité de possibilités dans les conceptions des laboratoires de recherche souterrains. Au moins deux grandes catégories pouvant être distinguées :

- des installations destinées à des recherches et expérimentations sur un site et que l'on appellera ici laboratoires de recherches génériques ou laboratoires méthodologiques qui **ne servira pas** à stocker des déchets mais à fournir des informations exploitables pour d'autres installations de stockage ;
- des installations aménagées sur un site considéré comme un site potentiel de stockage de déchets et qui en fait **peuvent constituer** une première étape pour le développement d'un stockage sur le site ; nous les appellerons ici laboratoires de recherches souterrains spécifiques à un site.

On peut construire des laboratoires de recherches souterrains génériques pour acquérir une expérience générale des techniques de construction

souterraine, tester des modèles et vérifier des techniques de mesure. Ces laboratoires peuvent également servir à obtenir des informations, et de l'expérience sur un type de roche particulier dans lequel on envisage d'aménager un dépôt ou sur d'autres sites. Le type de laboratoires de recherches souterrains génériques que l'on construira dépendra du stade d'avancement du programme d'aménagement d'un dépôt. La Suisse, par exemple, a entrepris des études générales à Grimsel bien avant d'avoir choisi un site ou un type de roche, et l'on continue depuis près de 20 ans à y mener des recherches internationales, tandis que les travaux dans le tunnel routier du Mont Terri ont été lancés précisément parce que ce tunnel traverse une formation argileuse envisagée comme roche hôte pour un dépôt qui serait aménagé sur un autre site.

La création d'une installation souterraine exige un investissement important en infrastructures : creusement et construction, services d'entretiens et sûreté en profondeur. C'est pourquoi, la plupart des laboratoires de recherches souterrains génériques des pays Membres de l'AEN ont été installés à l'intérieur ou dans le prolongement d'excavations qui existaient déjà, comme des mines et des tunnels. En passant par un accès souterrain ou une mine existants, on peut exploiter l'excavation initiale ainsi que l'ancienne infrastructure destinée à assurer l'entretien et la sécurité de la mine. Il arrive également qu'il soit plus facile d'obtenir les autorisations nécessaires pour poursuivre l'activité d'une mine ou d'un tunnel existant plutôt que d'aménager un nouveau site.

Ces laboratoires de recherche souterrains qui permettent d'exploiter un milieu géologique et des infrastructures déjà existants sont très utiles lorsqu'il s'agit d'acquérir une expérience des techniques employées pour la caractérisation du site, la construction, l'exploitation et la fermeture d'un dépôt, pour comprendre et tester des modèles. Dans certains cas, même si la représentativité des conditions qui règnent à l'intérieur et à proximité d'un dépôt réel est limitée, ces installations constituent néanmoins une solution rentable, en particulier aux premières étapes d'un programme d'aménagement d'un dépôt.

Le tableau 1 liste et présente les principales caractéristiques des laboratoires de recherches souterrains génériques des pays Membres de l'AEN qui exploitent des excavations existantes.

Dans certains programmes de développement de dépôts, la décision doit être prise pour construire spécialement un laboratoire de recherches génériques pour étudier un type de roche où l'on envisage d'installer un dépôt. Cette décision suppose un engagement financier substantiel puisque la totalité des coûts des travaux d'excavation, de la construction et des services doit être

prévue. En revanche, cette solution offre une plus grande maîtrise dans la mesure où l'on peut par exemple, recueillir des données sur le site avant la construction (c'est-à-dire sur le site non perturbé) et contrôler totalement les techniques de conception, de creusement et de construction en milieu souterrain ainsi que l'ensemble des opérations. Il est plus facile, dans ce cas, de prévoir dans la conception l'accès des visiteurs. L'interaction entre les scientifiques et le public peut en effet devenir une fonction importante du laboratoire dans un programme de stockage. En général, des assurances seront prises pour que le laboratoire souterrain ne fasse jamais partie d'un dépôt, ce qui peut contribuer à apaiser les populations locales par rapport à la construction de l'installation.

Le tableau 2 énumère les principales caractéristiques des laboratoires de recherche souterrains spécialement aménagés dans les pays Membres de l'AEN.

Lorsque l'on a identifié un ou plusieurs sites potentiels de dépôts, il est possible d'aménager un laboratoire de recherche souterrain pour acquérir des informations et de l'expérience sur ce site. Ce laboratoire peut être construit à proximité ou à l'intérieur de l'emprise du futur dépôt, s'il est décidé d'aménager le dépôt, le laboratoire pourra y être partiellement ou entièrement intégré. Les puits et voies d'accès au laboratoire peuvent alors servir de voies d'accès secondaires, voire même principales, au dépôt si elles ont été conçues comme telles.

Les laboratoires de recherches souterrains spécifiques à un site servent à confirmer l'intérêt de la roche hôte, à orienter la conception et l'architecture spécifiques du dépôt et à valider les diverses opérations d'ordre technologiques dans des conditions spécifiques au site. Il est également possible, comme dans les laboratoires de recherches génériques, d'y réaliser des travaux de recherche et de développement à caractère plus général. Il existe néanmoins quelques limites aux travaux réalisables sur le site, dans la mesure où les activités, dans un laboratoire souterrain spécifique, ne doivent pas compromettre la sûreté ultérieure du stockage sur place. Un laboratoire spécifique peut rester ouvert après la fermeture du dépôt correspondant, permettant de surveiller et de vérifier sur le comportement à long terme de la barrière ouvragée et du dépôt ou bien il peut être fermé dès que l'on a terminé les recherches nécessaires.

Le tableau 3 présente les laboratoires de recherches souterrains spécifiques à un site qui existent dans les pays Membres de l'AEN.

Quel que soit le type auquel appartient un laboratoire de recherche souterrain, il jouera un rôle de premier plan au moment du développement et de la présentation du dossier de sûreté d'un dépôt et contribuera à renforcer la confiance dans la stratégie envisagée pour le stockage.

Tableau 1. Laboratoires de recherches génériques exploitant des excavations souterraines pré-existantes dans les pays Membres de l'AEN

Laboratoire souterrain	Roche hôte, emplacement, profondeur	Organisation, remarques	Autres pays de l'AEN participant aux recherches
Mine d'Asse	Anticlinal salin du Permien, Allemagne ; plusieurs niveaux d'exploitation entre 490 et 800 m. ainsi que chambre souterraine creusée à 950 m.	GSF ; galeries pratiquées dans une ancienne mine de potasse et de sel, installations de démonstration du stockage de DFA ¹ et de DMA ² entre 1965 et 1978, installation de R-D jusqu'en 1997, remblayage des excavations inutilisées en cours.	France, Pays-Bas, Espagne.
Tono	Sédiments ; Japon.	JNC ; galeries pratiquées dans une ancienne mine d'uranium ; en service depuis 1986.	Suisse
Kamaishi	Granite ; Japon.	JNC ; galeries pratiquées dans une ancienne mine de fer-cuivre ; achevé en 1998	Suisse
Mine de Stripa	Granite ; Suède ; 360-410 m.	SKB ; galeries pratiquées dans une ancienne mine de fer ; en service de 1976 à 1992.	Canada, Finlande, France, Japon, Espagne, Suisse, Royaume-Uni, États-Unis
Grimsel Test Site (GTS)	Granite ; Suisse ; 450 m.	Nagra ; galerie débouchant dans une galerie de service d'une centrale hydroélectrique ; laboratoire en service depuis 1983.	République tchèque, France, Allemagne, Japon, Espagne, Suède, États-Unis
Projet du Mont Terri	Argile à Opalinus (argile raide) ; Suisse ; 400 m.	SNHGS ; galerie creusée à partir d'un tunnel d'autoroute ; projet lancé en 1995	Belgique, France, Allemagne, Japon, Espagne
Galerie de recherche d'Olkiluoto	Granite (tonalite) ; Finlande ; 60-100 m.	Posiva ; galerie située à proximité du dépôt de DFA. En service depuis 1992 ; recherches sur le stockage du combustible usé sur ce site ou ailleurs en Finlande.	Suède
Climax	Granite ; États-Unis ; 420 m.	DOE ; galerie creusée à partir d'excavations existantes ; expériences de stockage de combustible usé réalisées entre 1978 et 1983.	

1. DFA : Déchet faible activité
2. DMA : Déchet moyenne activité

Tableau 1. Laboratoires de recherches génériques exploitant des excavations souterraines pré-existantes dans les pays Membres de l'AEN (suite)

Laboratoire souterrain	Roche hôte, emplacement, profondeur	Organisation, remarques	Autres pays de l'AEN participant aux recherches
G-Tunnel	Tuf; États-Unis ; > 300 m.	DOE; tunnel pratiqué à partir d'excavations destinées aux essais d'armes ; en service de 1979 à 1990.	
Mine d'Amélie	Sels en couches ; France.	ANDRA; galeries pratiquées dans une mine de potasse ; en service de 1986 à 1992.	
Fanay-Augères	Granite ; France.	IPSN; galeries pratiquées dans une mine d'uranium, en service de 1980 à 1990.	
Installation de Tournemire	Sédiments (argile raide) ; France; 250 m.	IPSN; ancien tunnel ferroviaire et galeries adjacentes, en service depuis 1990.	Allemagne

Tableau 2. Laboratoires de recherches génériques construit ex nihilo dans les pays Membres de l'AEN

Laboratoire souterrain	Roche hôte, emplacement, profondeur	Organisation, remarques	Autres pays membres de l'AEN participant aux recherches
Site expérimental de dépôt pour les déchets de haute activité (HADES-URF)	Argile de Boom (argile plastique); Mol/Dessel, Belgique ; 230 m.	GIE EURIDICE ; le fonçage du puits a commencé en 1980, laboratoire en service depuis 1984 ; extension en 1998-99.	France, Allemagne, Japon, Espagne
Laboratoire souterrain de recherche de Whiteshell (URL)	Granite ; Lac du Bonnet, Manitoba, Canada ; 240-420 m.	EACL ; en service depuis 1984	France, Hongrie, Japon, Suède, Royaume-Uni, États-Unis
Laboratoire souterrain de recherche de Mizunami	Granite ; Japon.	JNC ; forages en cours.	Suisse
Laboratoire souterrain de recherche de Horonobe	Roche sédimentaire ; Japon	JNC ; construction approuvée en 2000.	
Laboratoire souterrain d'Äspö	Granite ; Suède, plusieurs profondeurs situées entre 200 et 450 m	SKB ; en service depuis 1995.	Canada, Finlande, France, Allemagne, Japon, Espagne, Suisse, Royaume-Uni, États-Unis
Busted Butte	Tuf en couches, formation de Calico Hills ; Yucca Mountain, Nevada, États-Unis, 100 m.	USDOE ; en service depuis 1998.	

Tableau 3. Laboratoires de recherches spécifiques à un site construits dans les pays Membres de l'AEN

Laboratoire souterrain	Roche hôte, emplacement, profondeur	Organisation, remarques	Autres pays membres de l'AEN participant aux recherches
ONKALO	Granite (tonalite) ; Finlande ; 500 m.	Posiva ; autorisé en 2001, la construction doit commencer en 2003.	
Meuse/Haute Marne	Argilites (argiles indurées), argilites du Callovo-Oxfordien, France; 450-500 m.	ANDRA ; site de dépôt potentiel, la construction des puits a commencé en 2000.	Japon
Gorleben*	Dôme de sel ; Basse Saxe, Allemagne ; plusieurs profondeurs au-delà de 900 m	BfS, DBE ; puits construits de 1985 à 1990.	
Konrad	Calcaire recouvert d'argilite ; Allemagne ; 800 m.	BfS, DBE ; galeries d'une mine de fer désaffectée ; en service depuis 1980 ; autorisation d'un dépôt de DFA/DMA en cours.	
Morsleben	Dôme de sel ; Allemagne ; plusieurs profondeurs au-delà de 525 m.	BfS, DBE ; mine de sel et de potasse désaffectée ; dépôt de DFA et de DMA depuis 1981 (les opérations de stockage ont pris fin en 1998).	
Pécs (Mont Mecsek)	Argile indurée ; formation de Boda ; Hongrie ; 1000 m.	PURAM ; mine d'uranium désaffectée ; laboratoire en service de 1995 à 1999.	
Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)	Sel (en couches) ; formation de Salado ; Carlsbad, Nouveau Mexique, États-Unis ; 655 m.	USDOE ; en service depuis 1982, stockage de déchets transuraniens autorisé depuis 1999.	Belgique Canada, France, Allemagne, Japon, Suède, Royaume-Uni.
Exploratory Studies Facility (ESF)	Tuf soudé, formation de Calico Hills ; Yucca Mountain, Nevada, USA ; 300 m.	USDOE ; les essais <i>in situ</i> ont commencé en 1996 ; la construction d'un tunnel exploratoire a été achevée en 1998.	

* Les travaux d'exploration du site potentiel ont été interrompus pour trois à dix ans en vertu du moratoire décrété par le gouvernement en date du 1/10/2000.

Développement des laboratoires souterrains de recherche

Comme on peut le constater sur les tableaux 1 à 3, dix pays Membres de l'AEN ont développé des laboratoires souterrains. Certains d'entre eux sont passés du laboratoire de recherches génériques à des laboratoires spécifiques à un site. La Finlande, la France et le Japon envisagent aujourd'hui d'en construire de nouveaux. Plusieurs pays n'en possèdent pas encore (les Pays-Bas, l'Espagne, le Royaume-Uni et la République tchèque) mais ont coopéré ou coopèrent aux recherches menées dans divers laboratoires. Par conséquent, la quasi totalité des pays Membres de l'AEN en possession de déchets radioactifs à vie longue effectuent des recherches dans ces laboratoires, bien qu'ils soient à divers stades de développement de leurs programmes de stockage.

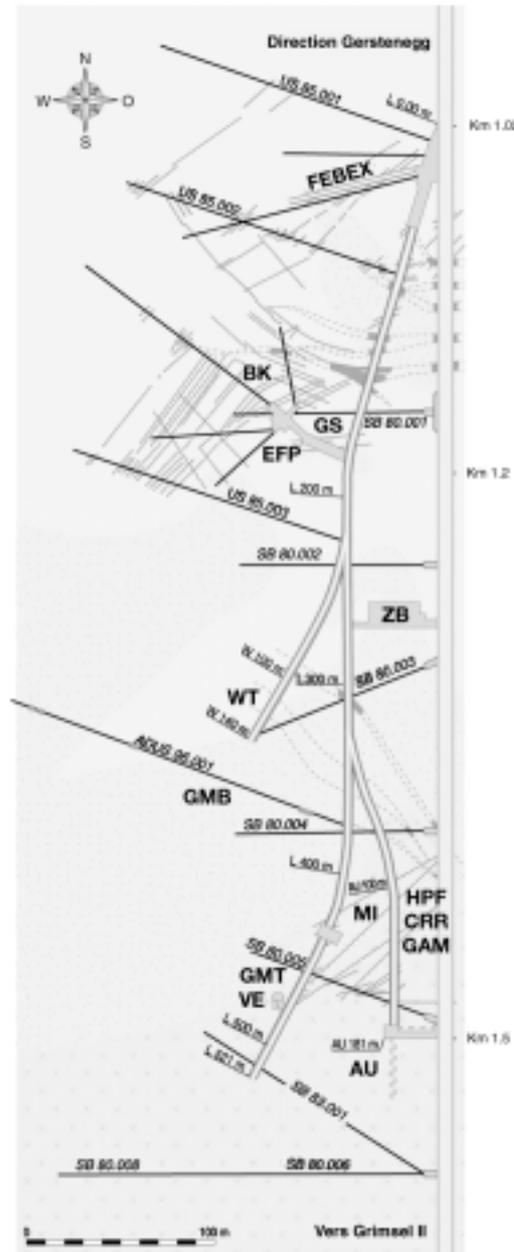
Cumulée, l'expérience acquise dans tous les laboratoires souterrains existants représente plus de 250 ans. Dans la mine d'Asse, qui fut le premier laboratoire de recherches génériques, les travaux ont commencé en 1965. Le Canada a inauguré en 1984 la construction *ex nihilo* d'un laboratoire, et le premier laboratoire spécifique à un site a été créé en 1980 à la Mine de Conrad, en Allemagne.

Coûts des laboratoires souterrains

Construire des laboratoires de recherche souterrains est une opération de longue haleine qui coûte cher, comme en fait toutes les constructions souterraines. Dans le cas précis des laboratoires souterrains, la construction peut se révéler particulièrement contraignante, d'une part, parce qu'il faut recourir à des méthodes d'excavation spéciales pour limiter les perturbations de la roche et, d'autre part, parce que les procédures d'assurance-qualité doivent être du même niveau que celles que l'on aurait dans un laboratoire en surface. La construction d'un laboratoire souterrain peut facilement atteindre de l'ordre de 100 millions d'euros, sans compter qu'une fois la construction terminée, le laboratoire peut absorber une forte proportion du budget alloué au programme de stockage. Andersson (1999), a calculé que les travaux de recherche et de développement réalisés dans quatre laboratoires européens avaient coûté entre 5 millions et 11 millions d'euros par an. Par conséquent, aucun pays ne décide à la légère de construire un laboratoire souterrain, et cette décision représente une volonté manifeste de mener des études et recherches en prévision de l'aménagement d'un dépôt. De ce point de vue, le nombre de laboratoires déjà construits et leur exploitation intensive malgré leurs coûts attestent de l'intérêt qu'on leur accorde dans les programmes de stockage nationaux.

Autres avantages des laboratoires de recherche souterrains

S'ils permettent de recueillir des informations importantes pour la science et la technologie, ces laboratoires peuvent également contribuer à faire accepter un dépôt. Ils sont un moyen de renforcer la confiance du public dans les concepts de stockage des déchets ainsi que dans la capacité des gestionnaires de déchets de construire des installations de stockage. Par ailleurs, ils constituent pour les autorités de sûreté l'occasion d'accroître leur propre visibilité en participant activement au programme de construction du laboratoire et, ainsi, de démontrer qu'elles sont en mesure d'assumer sans faillir la réglementation d'un dépôt. Les informations et l'expérience acquises dans les laboratoires souterrains peuvent contribuer à faire évoluer le débat, tant entre les gestionnaires de déchets et les autorités de sûreté qu'entre les gestionnaires de déchets et le grand public, le faisant passer de considérations théoriques, stade auquel il est difficile de parvenir à des décisions fermes, à des échanges concrets susceptibles de déboucher plus facilement sur des décisions. Dans ce contexte, bien que de valeur technique équivalente, les travaux réalisés dans des laboratoires souterrains à l'étranger n'auront pas le même impact sur un programme national, dans la mesure où ils sont moins focalisés sur les objectifs nationaux et les préoccupations de la société.



3. LES DIVERS APPORTS DES LABORATOIRES DE RECHERCHE SOUTERRAINS

L'intérêt principal d'un laboratoire souterrain tient au fait qu'il est le seul moyen d'accéder au milieu géologique dans des conditions représentatives d'un dépôt. Cet accès est nécessaire si l'on veut mettre au point les méthodes et matériels de caractérisation *in situ* et donner au personnel l'occasion de développer leur propre expertise. Il permet de caractériser les propriétés de la géosphère et les conditions qui auront des répercussions sur les performances du dépôt. Le laboratoire souterrain est une installation où se déroulent les expériences destinées à recueillir un ensemble de données utilisés ensuite pour tester les modèles et mettre au point et démontrer les technologies de construction du dépôt, de mise en place des déchets, de remblayage et de scellement dans des conditions réalistes. Ces technologies et compétences peuvent alors être transposées à des dépôts réels. Mais, en dehors de la technique, le laboratoire apporte également des avantages dont le principal est la confiance des milieux scientifiques en général, mais aussi du grand public, dans la technologie de stockage dont on aura fait la démonstration dans l'installation. Enfin, il offre une occasion unique d'organiser des collaborations internationales avec une variété de bénéficiaires.

Évolution des travaux réalisés dans les laboratoires souterrains

Avec le temps, les travaux réalisés dans les laboratoires souterrains ont évolué tant par leur nature que par leur quantité. Au tout début des laboratoires souterrains, c'est-à-dire il y a 25 à 30 ans, l'essentiel de la technologie élaborée dont on avait besoin pour construire des dépôts de déchets nucléaires était encore à son début. Les priorités étaient alors de mettre au point des matériels et des méthodologies d'expérimentation, de réaliser des études élémentaires de faisabilité technique et de recueillir des données géologiques fondamentales. Aujourd'hui, ces activités sont passées au second plan puisque l'on possède ces informations. L'accent est mis sur l'adaptation et l'optimisation, en fonction des conditions spécifiques à chaque site, des équipements et techniques qui ont été mis au point ailleurs.

Les travaux effectués dans les laboratoires souterrains ont en outre évolué en fonction des besoins et résultats des études itératives de sûreté et sont aujourd'hui centrés sur la réduction des incertitudes et la constitution d'un dossier de sûreté plus fiable. Par exemple, des essais peuvent être réalisés pour différencier des modèles conceptuels ou parfaire la connaissance scientifique de processus particuliers. L'accent est davantage mis sur des expériences du type démonstration en vraie grandeur des systèmes de barrières ouvragées et sur des essais de traçage à long terme et à grande échelle.

Exemples des travaux réalisés dans les laboratoires

On trouvera au tableau 4 quelques exemples des travaux menés dans les laboratoires souterrains. Nous proposons ci-dessous une description des grandes classes auxquelles ils appartiennent :

Techniques de caractérisation et de surveillance : mise au point de méthodes et de matériels et acquisition d'une expérience

Pour caractériser l'environnement géologique à partir d'un laboratoire souterrain, il faut un équipement et des procédures différents de ceux que l'on utilise couramment en surface. Par ailleurs, la spécificité des problèmes qui se posent dans chaque dépôt exige un certain degré d'invention et d'innovation. Les laboratoires souterrains sont l'occasion de mettre au point et de tester les outils nécessaires à la caractérisation un dépôt et, ce qui importe tout autant, de permettre au personnel de se familiariser avec ces outils et de constituer des équipes efficaces. C'est également dans ces laboratoires que l'on peut mettre au point et tester tous les systèmes de surveillance qui pourraient être exigés à proximité d'un dépôt.

Dans cet apprentissage de la caractérisation souterraine, les procédures d'assurance-qualité élaborées et testées simultanément comptent aussi beaucoup. Des procédures d'assurance de la qualité à la fois efficaces et éprouvées constituent en effet des atouts majeurs lorsque l'on présente une demande d'autorisation pour un dépôt.

Évaluation de la fiabilité des méthodes de caractérisation des sites depuis la surface

Avant d'entamer la construction d'un laboratoire souterrain, les méthodes de caractérisation du site employées depuis la surface fournissent des données qui servent à mettre au point, dans un premier temps, un modèle

conceptuel, puis ensuite, un modèle numérique du site. Le creusement ultérieur du laboratoire souterrain permet donc de vérifier les prédictions effectués à l'aide de ces modèles, comme par exemple, l'existence de zones fracturées. Il est également possible de relier les paramètres de caractérisation mesurés depuis la surface (par exemple, dans des forages ou lors de travaux de reconnaissance géophysique en surface) à ceux que l'on mesure à l'intérieur du laboratoire souterrain. On pourra ainsi sélectionner les méthodes et/ou modèles d'investigation en surface qui donnent les meilleures prévisions du milieu souterrain (ou sont réellement utiles aux prévisions) et les intégrer au programme d'implantation et de caractérisation du dépôt. La capacité de prévoir avec précision les conditions qui règnent en profondeur est en effet essentielle si l'on veut démontrer qu'il est possible de trouver un site de dépôt satisfaisant.

Recueil de données destinées à l'évaluation des performances et à la conception du dépôt

Qu'il soit générique ou spécifique à un site, un laboratoire souterrain permet de recueillir des données de caractérisation qui viennent compléter celles qui ont été obtenues lors des recherches en surface et des expériences de laboratoire. Ces données peuvent être collectées à différentes profondeurs dans les galeries et puits d'accès, ce qui permet d'élargir la caractérisation au-delà de l'horizon du dépôt potentiel. Elles peuvent servir ensuite à mettre au point et tester des modèles de comportement du dépôt et de la géosphère et permettre d'appréhender la sensibilité des différentes mesures du comportement à des variations des paramètres de caractérisation mesurés. Les données engrangées dans les laboratoires souterrains ont l'avantage de correspondre à des conditions plus représentatives de celles qui régneront dans un dépôt réel (à savoir, dans le champ proche) que des données prélevées dans un forage. Les essais peuvent être réalisés sur des volumes de roche plus importants ; ils permettent de mettre au point des règles de mise à l'échelle et peuvent être axés sur la caractérisation des hétérogénéités et la réduction des incertitudes. Dans certaines formations, il n'est possible de prélever des échantillons d'eau porale que dans un laboratoire souterrain.

Dans le cas d'un laboratoire souterrain spécifique à un site, la connaissance des variations lithologiques des structures importantes et d'autres hétérogénéités que l'on peut acquérir en souterrain est également essentielle pour la conception définitive du dépôt. Par ailleurs, certaines formes de surveillance, mais aussi la définition de l'état de référence du site avant d'entamer la construction du dépôt ne sont réalisables que dans un laboratoire spécifique à un site.

Essais et développement des modèles conceptuels et numériques

Le laboratoire souterrain offre l'environnement nécessaire aux essais et à la mise au point de modèles plus ou moins détaillés. Il s'agit tant des modèles qui seront utilisés pour la conception du dépôt et l'optimisation de son architecture, comme les modélisations de la réponse géomécanique et thermique et les modèles de régimes hydrogéologiques, que de modèles destinés aux évaluations de la sûreté, par exemple des modèles de transport des solutés et des contaminants.

Construction, exploitation et fermeture des dépôts et reprise des déchets : mise au point de méthodes et de matériels et expérience

Un laboratoire de recherche souterrain permet de mettre au point et de faire la démonstration, sous assurance qualité, des technologies de construction et d'exploitation de dépôts, de mise en place des déchets, des barrières ouvragées, des remblayages et des scellements et cela, dans des conditions réalistes. Par exemple, la conception et la construction d'un dépôt doivent être adaptées aux hétérogénéités particulières d'un site. Le laboratoire souterrain offre la possibilité de déterminer si les méthodes proposées à cet effet sont adaptées. On peut également y tester le principe de la « conception graduelle » proposé par SKB et Posiva, qui consiste à attendre d'avoir exploré suffisamment de roche pour choisir l'emplacement optimal des galeries et des conteneurs de déchets. Si le programme de stockage s'inscrit dans une logique de réversibilité, le laboratoire souterrain sera l'occasion de mettre au point et de tester le matériel et les méthodologies de reprise des déchets et d'en effectuer la démonstration.

Le laboratoire souterrain permet d'étudier les interactions des matériaux utilisables pour la construction d'un dépôt et des colis de déchets avec les barrières ouvragées et la roche hôte dans des conditions *in situ* offrant différents régimes thermiques possibles. Les effets géomécaniques des différentes techniques minières peuvent aussi être évalués dans un laboratoire souterrain. En outre, ces évaluations et démonstrations s'accompagneront de la mise au point et d'essais des procédures d'assurance-qualité dont on aura besoin au moment de l'aménagement et de l'exploitation du dépôt. Toutes ces activités seront pour le personnel l'occasion d'acquérir une expérience précieuse.

Les laboratoires souterrains, peuvent être bénéfique pour les autorités de sûreté

En plus des multiples intérêts qu'ils présentent pour les agences de gestion des déchets, les laboratoires souterrains peuvent apporter beaucoup de bénéfices aux autorités de sûreté. En participant à un projet de laboratoire, l'autorité de sûreté peut instaurer un dialogue avec le gestionnaire de déchet et le public à propos du programme de développement d'un dépôt ou si le dialogue existe déjà, l'améliorer. Suivant la fonction particulière du laboratoire souterrain à chaque étape d'un projet d'aménagement de dépôt, l'analyse des résultats du programme de recherche qui y est conduit peut éclairer sur ce que l'on peut globalement attendre des étapes ultérieures. Néanmoins, l'autorité de sûreté doit veiller à ne pas donner l'impression d'aliéner son indépendance et, pour ce faire, miser sur la transparence et ouvrir le dialogue au public.

Le programme d'expérimentation en laboratoire souterrain, en particulier s'il est organisé aux premiers stades du développement d'un dépôt dans un laboratoire générique, a un rôle réglementaire important à jouer. En effet, il fournit des informations que peuvent directement exploiter les autorités de sûreté pour évaluer la faisabilité générale du concept de dépôt envisagé. S'agissant de la conception du système et de la stratégie à suivre pour tester et réaliser ce système, le programme d'études et de recherches mené *in situ* devrait, dans de nombreuses situations, être plus convaincant que tout autre.

Le laboratoire souterrain peut aussi servir à l'autorité de sûreté à mettre au point et tester ses propres modèles qu'elle entend utiliser pour évaluer le dépôt. Les données fournies par le programme de recherches, lui permettront de réaliser une étude de sûreté indépendante et de recenser les points essentiels sur lesquels se concentrer lorsque l'agence de gestion des déchets lui présentera une évaluation de sûreté. Ce type d'exercice constitue à la fois une expérience et une formation pour le personnel qui réalisera l'évaluation réglementaire du dépôt.

Dans un programme de stockage, les laboratoires souterrains sont un facteur de confiance

Sur le terrain de la confiance, le laboratoire souterrain a plusieurs rôles à jouer. Parce qu'ils fournissent des données et une expérience capitales, il peut rassurer les responsables du programme de gestion des déchets qui financent les recherches quant à l'efficacité du concept de dépôt et à la faisabilité de sa mise en œuvre. Il est également un outil d'intégration des divers aspects du programme puisqu'il s'appuie sur le travail d'une équipe pluridisciplinaire. L'autorité de sûreté qui participe activement à un programme de recherche en

laboratoire et le fait savoir peut asseoir sa crédibilité et sa notoriété et ainsi convaincre la société de sa capacité de régler un dépôt. Pour la communauté technique au sens large du terme, la confiance naît des interactions que favorisent les laboratoires avec les universitaires, les agences de gestion de déchets étrangères et d'autres scientifiques. Ces laboratoires permettent d'apporter au public et aux décideurs, la démonstration du concept général de stockage, y compris des technologies de construction et d'exploitation, de la mise en place des déchets, du remblayage, du scellement et des systèmes de surveillance. De cette manière, ils peuvent servir de « répétition générale » publique avant la sélection, la caractérisation, la construction, l'exploitation et la fermeture d'un véritable dépôt.

Les laboratoires souterrains peuvent servir à montrer à quoi ressembleraient et comment fonctionneraient des dépôts réels car ils permettent au public d'assister au déroulement des travaux, de s'adresser à ceux qui réalisent vraiment le travail, d'obtenir des chercheurs des réponses crédibles à ses questions et de recueillir des explications compréhensibles sur les travaux menés en profondeur. C'est la crédibilité du programme tout entier qui y gagne. Par ailleurs, le choix de l'emplacement où sera installé le laboratoire souterrain et sa construction peuvent être l'occasion pour l'agence de gestion de déchets de mettre au point et d'affiner ses méthodes de dialogue avec le public tout en établissant des relations de travail avec les groupes et toutes les parties qui pourraient être impliquées dans le développement futur du dépôt.

Les laboratoires souterrains attirent la collaboration internationale

Les laboratoires souterrains constituent aussi une incitation à collaborer avec d'autres programmes internationaux de gestion des déchets (voir section 5). La concentration de chercheurs qualifiés de divers pays que suppose l'ouverture d'un laboratoire à la collaboration et à la coopération internationales est un moyen d'exploiter des compétences beaucoup plus vastes que celles qu'un pays pourrait mobiliser tout seul. Par ailleurs, la collaboration internationale garantit une base financière plus solide et permet de ce fait de mener des travaux hors de la portée d'un pays isolé.

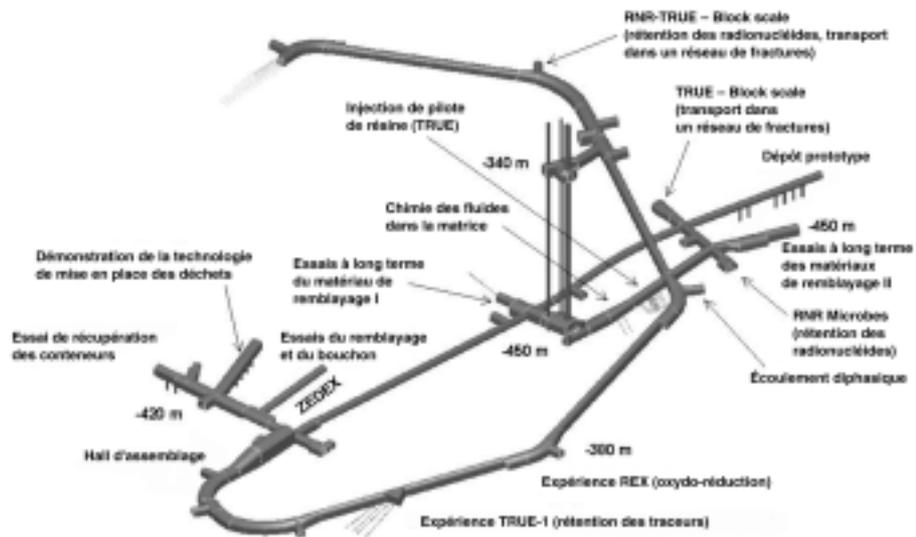
Tableau 4. **Informations techniques recueillies dans des laboratoires souterrains**

Objectifs	Exemples
<p>Mise au point de méthodes et de matériels de caractérisation souterraine et tests de la fiabilité des différentes méthodes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Expériences de ventilation, tests d'interférences hydrauliques et sismiques entre forages, test radar dans un forage et expériences de validation réalisées dans la galerie à Stripa ; • Mise au point d'un extensomètre à l'URL*, Canada ; • Mise au point de matériels et de protocoles d'essais de perméabilité à la saumure de l'halite à WIPP ; • Test de migration d'une saumure à Asse.
<p>Évaluation de la fiabilité des méthodes de caractérisation en surface</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparaison des résultats des essais de perméabilité réalisés à partir des forages profonds avec les essais de perméabilité <i>in situ</i> à WIPP ; • Comparaison des calculs réalisés avant creusement avec les propriétés mesurées dans la galerie à Äspö.
<p>Applications des stratégies d'exploration des sites et des stratégies destinées à adapter les systèmes souterrains au fur et à mesure que l'on acquiert des informations</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cartographie des fractures et mesures hydrauliques destinées à sélectionner l'emplacement d'alvéoles de stockage en vraie grandeur dans la galerie de recherche d'Olkiluoto ; • Application de méthodes géophysiques à Grimsel, Tournemire, et Stripa.
<p>Tests et mise au point de modèles conceptuels et numériques de processus susceptibles d'intervenir dans le transport des radionucléides à travers la roche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Projet de ralentissement des radionucléides à Grimsel ; • Essais de transport en zone insaturée à Yucca Mountain ; • Expériences de transport et de diffusion de solutés au lac du Bonnet, Canada ; • Tests du seuil de pénétration des gaz à WIPP ; • Programme de rétention de traceurs à Äspö.
<p>Mesure des effets du creusement sur le système local</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Expériences sur la zone endommagée par le creusement à Äspö, Grimsel et WIPP ; • Étude de la zone perturbée autour d'une galerie creusée à l'explosif et d'alvéoles de stockage forés dans la galerie de recherche d'Olkiluoto.

* Voir définition des acronymes dans l'annexe.

Objectifs	Exemples
Perfectionnement et tests des techniques de creusement	<ul style="list-style-type: none"> • Démonstration de la faisabilité technique du forage de galeries dans des argiles plastiques à HADES ; • Comparaison des techniques de forage par tunneliers et à l'explosif à Äspö et Grimsel ; • Démonstration d'une technique de forage profond à Asse ; • Études des performances des techniques de stockage à Olkiluoto.
Simulation des effets de la mise en place des déchets radioactifs (chaleur, relâchement des nucléides, effets mécaniques).	<ul style="list-style-type: none"> • Étude de l'effet de la chaleur et du rayonnement sur l'argile à HADES ; • Simulation thermique du creusement d'une galerie à Asse ; • Tests de chauffage à Stripa, Yucca Mountain., WIPP, et Grimsel ; • Essais d'interactions thermiques/structurales à WIPP ; • Essais thermo-hydro-mécaniques au lac du Bonnet, Canada.
Expérimentations concernant les processus à long terme, les phases post-opératoires, la corrosion, la stabilité géomécanique, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Démonstration du concept du stockage dans l'argile à HADES ; • Tests de processus thermo-hydro-mécaniques couplés à Kamaishi ; • Tests d'interactions aux interfaces entre matériaux à WIPP ; • Comportement du remblayage et des matériaux à Asse ; • Essais thermo-hydro-mécaniques au lac du Bonnet, Canada.
Démonstration de la faisabilité des systèmes de barrières ouvragées	<ul style="list-style-type: none"> • Test du scellement de forages et de la masse-tampon à Stripa ; • Expérimentations en vraie grandeur sur les barrières ouvragées à Grimsel ; • Mise au point de scellements de forages destinés aux conteneurs de DHA à Asse ; • Tests de la zone tampon et des conteneurs au lac du Bonnet, Canada ; • Essais à échelle réduite du comportement des scellements à WIPP ; • Expériences de scellement du dépôt à HADES.

Sites d'expérimentation au Laboratoire d'Äspö



4. RÔLE STRATÉGIQUE ET PLANIFICATION DES LABORATOIRES DE RECHERCHE SOUTERRAINS

Les laboratoires de recherche souterrains peuvent jouer un rôle capital à diverses étapes d'un programme de stockage mais aussi sur toute la durée de vie de l'aménagement et même après sa fermeture. Dans le monde, on peut prévoir les séquences suivantes : construction de laboratoires de recherches génériques (y compris les installations construites *ex nihilo*) puis des laboratoires souterrains destinés à l'étude de roches présentant un intérêt national, développement d'un laboratoire sur le site pressenti pour un dépôt et enfin construction d'une installation de stockage à l'essai ou d'un dépôt en vraie grandeur. Néanmoins, chaque pays pourra adopter une stratégie différente et devra se poser une série de questions concernant la nécessité de construire un laboratoire et la planification de son développement.

Rôle des laboratoires de recherche dans le processus par étapes du développement d'un stockage

La planification, la mise au point technique et les recherches associées, le choix du site, la construction, l'autorisation et, éventuellement, la fermeture d'un dépôt en formation géologique devraient s'étendre sur plusieurs dizaines d'années. Pour gérer l'ensemble du processus, on préconise une démarche par étapes, chaque étape se concluant sur un bilan de l'expérience et des informations acquises afin de corroborer ou, au contraire, de revoir les plans établis auparavant et passer à l'étape suivante. En particulier, l'expérience et les informations accumulées seront intégrées à un dossier de sûreté qui devrait apporter une garantie suffisante de la sûreté ultime de l'installation pour que le projet franchisse avec succès les contrôles de l'autorité de sûreté et de la société prévus à chaque étape.

Le détail du processus par étapes inscrit dans chaque programme national pourra varier; de même que les contraintes nationales, notamment la politique de gestion des déchets, la répartition des responsabilités, les possibilités géologiques sur le territoire national et le budget alloué aux études et recherches. De ce fait, le développement d'un laboratoire souterrain dans un

pays sera fonction, par exemple, des possibilités d'exploiter l'expérience d'autres pays (et de collaborer à d'autres programmes nationaux d'expérimentation en laboratoire), de la démarche adoptée pour l'implantation de l'installation (et notamment de la nécessité d'évaluer d'autres milieux géologiques) ainsi que des possibilités de construction de laboratoires sur les sites présentant un intérêt géologique (en tenant compte des difficultés d'obtention des autorisations pour un laboratoire souterrain).

On peut néanmoins définir des grandes étapes dans le programme de développement d'un stockage et proposer des exemples des travaux qu'il pourrait être utile de mener à chacune de ces étapes :

Mise au point du concept

- recherches destinées à étudier les caractéristiques et processus généraux de milieux géologiques pertinents afin d'élaborer des modèles génériques de la réponse de la roche et de la réponse hydrogéologique, du transport de contaminants et du comportement global de dépôt ;
- mise au point et essais préliminaires des techniques de creusement, des spécifications des matériaux – de remblayage et de scellement par exemple – ainsi que des techniques de surveillance.

Sélection et caractérisation de site

- expérimentation des techniques de caractérisation des sites afin d'en vérifier les capacités et la précision sur le terrain ;
- caractérisation de roches hôtes ou de sites spécifiques ;
- mise au point de modèles d'un site et validation de ces modèles en fonction des observations des perturbations provoquées par le creusement ;
- perfectionnement des techniques de creusement, ajustement des spécifications des matériaux et des techniques de surveillance.

Développement du dépôt

- mise au point des méthodes de stockage (et de reprise) des déchets ;
- amélioration et tests des techniques de surveillance ;
- tests des matériel de manutention des déchets ;

- essais de mise en place des déchets, de remblayage et de scellement.

Exploitation et fermeture du dépôt

- ajustement permanent des techniques et de l'instrumentation ;
- surveillance consécutive à la mise en place des déchets.

Stratégies nationales de développement de construction d'un laboratoire souterrain

Pour satisfaire les besoins indiqués ci-dessus, chaque pays pourra associer des expériences réalisées dans son propre laboratoire national et des collaborations avec des laboratoires étrangers. Par conséquent, tous les pays ne construiront pas un laboratoire ex nihilo même si une majorité aménage un ou plusieurs laboratoires génériques afin de pouvoir étudier les types de roche présentant un intérêt national. En revanche, la construction de tout dépôt important sera précédée par l'aménagement d'un laboratoire de recherches spécifiques à un site. Quel que soit le projet de dépôt, les questions qui suivent devront être posées :

Quelle est l'urgence du stockage des déchets ?

Certains pays tardent à construire un laboratoire car ils n'envisagent pas de stocker définitivement les déchets avant plusieurs dizaines d'années, voire plus. Dans ce cas, ils auront en effet intérêt à suivre les évolutions dans d'autres pays, au besoin en collaborant à des recherches entreprises dans les laboratoires étrangers, de façon à accumuler le plus possible de connaissances d'expérience et en prévision du moment où il leur faudra construire leurs propres laboratoires souterrains. Quoiqu'il en soit, même si la construction n'a aucun caractère d'urgence, un laboratoire national méthodologique peut être l'occasion d'acquérir une expertise technique et aussi de faire accepter le principe du stockage souterrain.

En revanche, s'il devient urgent de stocker les déchets, il faudra envisager soit de construire un laboratoire souterrain destiné à étudier certains types de roches hôtes particuliers ou encore un laboratoire de qualification, si l'on a choisi le site.

A-t-on besoin d'un laboratoire souterrain pour mettre au point et tester un concept de stockage ?

Pour pouvoir mettre au point, tester et faire la démonstration d'un concept particulier de stockage avant de décider de construire un dépôt selon ce concept, il peut être nécessaire de construire un laboratoire souterrain et d'y procéder à des expériences.

Est-il possible d'obtenir les informations souhaitées dans le cadre d'expérimentations réalisées dans des laboratoires souterrains à l'étranger ?

La plupart des pays qui possèdent des laboratoires souterrains proposent aux autres pays de collaborer aux expérimentations. À condition que les informations et les expériences acquises dans ces laboratoires soient transposables au concept de dépôt envisagé (même type de roche hôte par exemple), collaborer aux travaux entrepris dans les laboratoires étrangers permet d'économiser à la fois du temps et de l'argent avant la construction du laboratoire souterrain national.

Les laboratoires souterrains sont-ils le meilleur moyen de réaliser les recherches et essais nécessaires ?

Le développement d'un dépôt s'appuie sur des recherches et des expérimentations qu'il peut être impossible à réaliser si l'on n'a pas accès au milieu géologique. Cela recouvre certaines techniques spécifiques (permettant de tester la perméabilité de la roche ou la mise en place des déchets, par exemple), la compréhension des phénomènes et l'expérimentation d'une diversité de travaux souterrains. Avec le temps, d'autres laboratoires souterrains devraient produire une moisson toujours plus abondante d'informations et de retour d'expérience (à moins qu'il n'existe aucun laboratoire dans la roche envisagée), ce dont bénéficieront les programmes de plus petite envergure ou moins avancés, mais l'accès au milieu géologique et l'expérimentation souterraine seront toujours un préalable indispensable à la construction du dépôt.

Est-il rentable de convertir une installation souterraine existante en laboratoire générique ?

Les installations souterraines existantes (telles que des mines ou des tunnels) peuvent servir à mettre au point et acquérir les techniques, équipements et compétences dont on aura besoin pour l'aménagement ultérieur d'un dépôt, et ce moyennant un coût raisonnable. Une excavation existante, même si elle ne remplit pas toutes les fonctions

d'une nouvelle installation, peut néanmoins permettre des progrès rapides dans certains domaines.

Le programme de stockage des déchets est-il suffisamment avancé pour assurer la continuité avec les expérimentations réalisées en laboratoire souterrain lorsqu'elles sont achevées ?

S'il s'écoule une période trop longue entre la mise au point de technologies dans un laboratoire souterrain, avec l'acquisition de compétences qu'elle suppose, et le moment où elles peuvent être appliquées en continu, le risque est de perdre tout le bénéfice du travail accompli et de la formation du personnel. Par conséquent dans l'idéal, il faudrait veiller à assurer la continuité du programme de travail depuis la construction du premier laboratoire jusqu'à l'aménagement du dépôt, et cela avant même d'entamer les travaux dans le laboratoire.

Moment optimal pour la construction d'un laboratoire de recherches spécifiques à un site

Avant de décider du moment où construire un laboratoire souterrain spécifique à un site, plusieurs questions d'ordre technique et administratif se posent :

Existe-t-il des données spécifiques qui ne peuvent être obtenues que dans un laboratoire souterrain « site-spécifique » ?

Il arrive un moment où, pour établir les modèles d'évaluation des performances, la conception technique et d'autres aspects d'un programme de construction de dépôt, on ait besoin d'informations détaillées qui ne peuvent être recueillies que sur le site du dépôt, en profondeur. Si le manque d'informations fait obstacle à la progression du programme et que toutes les conditions préalables sont remplies, il est temps de construire un laboratoire de qualification du site.

A-t-on recueilli toutes les données nécessaires avant de perturber le système ?

Le creusement d'un laboratoire souterrain (ou d'un dépôt) a des répercussions importantes et persistantes sur le milieu géologique. Avant de commencer à creuser, il faut donc établir le référentiel hydrologique du site (essentiellement la charge hydraulique) et réaliser toutes les expériences qui ne peuvent être effectuées que dans un milieu non perturbé. Les essais hydrauliques et autres sources de données doivent

fournir suffisamment d'informations pour que l'on puisse mettre au point des modèles permettant de prédire les effets du creusement.

Toutes les conditions préalables d'ordre technique, logistique et réglementaire sont-elles remplies ?

Les modifications des propriétés de la roche hôte provoquées par le creusement comptent parmi les informations les plus précieuses qu'un laboratoire souterrain puisse fournir. Avant de les collecter, les conditions suivantes doivent être remplies : les systèmes de surveillance en surface doivent être en place (et, comme nous l'avons vu plus haut, l'état de référence du site doit être établi), le matériel de surveillance doit être prêt à être installé en profondeur dès que l'excavation sera pratiquée et toutes les dispositions logistiques doivent être prises notamment pour assurer la présence du personnel nécessaire.

En plus de ces préalables techniques et logistiques, divers aspects du développement (construction des puits, des galeries, des systèmes de ventilation) peuvent relever de plusieurs autorités. Pour éviter des retards coûteux, les exigences réglementaires devront être, discutées en avance aux échéances prévues en cohérence avec les impératifs techniques et logistiques.

Le programme est-il prêt à apporter la démonstration de la capacité du pays de construire un dépôt ?

L'une des fonctions possibles d'un laboratoire souterrain de recherche est de démontrer que l'on est capable de choisir un site et de construire, d'exploiter et de fermer un dépôt. Dans certains pays, la réglementation exige que l'on construise d'abord un laboratoire de recherche avant le dépôt. Lorsque le programme sera prêt pour cette démonstration, on pourra envisager de construire une installation souterraine.

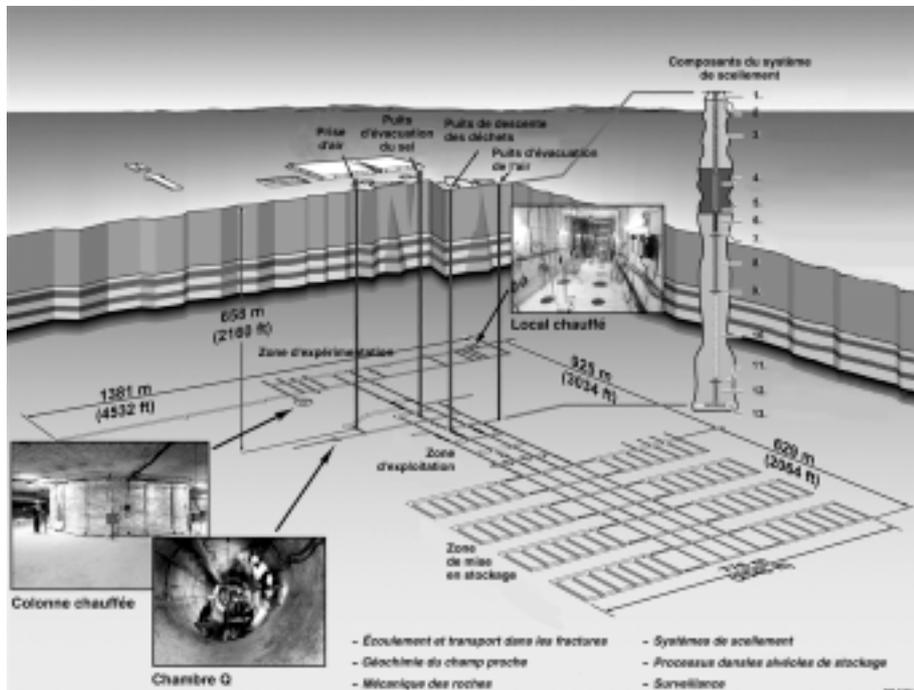
Rôles ultérieurs des laboratoires souterrains

À l'heure actuelle, il n'existe qu'un dépôt des déchets à vie longue en exploitation (WIPP aux Etats-Unis) de sorte que l'on n'a pas encore vraiment expérimenté le rôle que pourrait jouer le laboratoire souterrain après la mise en service du dépôt. On peut cependant entrevoir plusieurs fonctions importantes pour ces laboratoires, même après la fermeture du dépôt. Par exemple, un laboratoire de recherches spécifiques pourrait servir à stocker des déchets simulés en même temps que l'on procède au stockage des déchets réels dans le

dépôt. Pendant la période d'exploitation du dépôt, voire même au-delà, le comportement des conteneurs de déchets, du remblayage et de toutes les autres barrières ouvragées pourraient être vérifiés dans le laboratoire par divers moyens, parfois même intrusifs, qu'il ne serait ni possible ni souhaitable d'utiliser dans un dépôt. Au cas où l'on souhaiterait un jour retirer les déchets, les déchets simulés qui se trouvent dans le laboratoire pourraient être utilisés comme bancs d'essais pour affiner les méthodes et les matériels nécessaires et pour approfondir l'expérience acquise. De la même manière, on pourrait surveiller sur plusieurs dizaines d'années dans un laboratoire souterrain certains aspects du comportement de la géosphère, tels que les débits apportés par les venues d'eau et l'extension de la zone perturbée par l'excavation, ceci afin de vérifier ou de revoir les hypothèses utilisées dans les analyses de sûreté.

Autre possibilité, le laboratoire peut servir d'installation de stockage pilote où une fraction des déchets à stocker serait soumise à une surveillance initiale plus poussée (voir par exemple, Wildi *et al.* 2000), le temps d'acquérir la confiance nécessaire pour procéder au stockage en vraie grandeur ou, au contraire, de recueillir des informations conduisant à modifier les techniques de stockage et/ou de remblayage, etc.

Vue en coupe de la Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)



Composants du système de scellement

1. Terre compactée
2. Bouchon en béton
3. Terre compactée
4. Colonne d'argile compactée (formation de Rustler)
5. Bouchon en béton
6. Colonne d'asphalte
7. Étanchéité supérieure béton-asphalte
8. Colonne supérieure d'argile compactée (formation de Salado)
9. Étanchéité inférieure béton-asphalte
10. Colonne de sel compacté
11. Étanchéité inférieure béton-asphalte
12. Colonne inférieure d'argile compactée (formation de Salado)
13. Monolithe de fond de puits

5. COOPÉRATION INTERNATIONALE

Le coût de la construction et de l'exploitation d'un laboratoire souterrain de recherche mais aussi les possibilités de partager des connaissances et de l'expérience sont autant d'arguments en faveur de la collaboration internationale. Cette collaboration favorise des échanges d'idées, stimule la créativité et rehausse à la qualité des recherches. La demande collective de plusieurs organisations incite à respecter davantage les échéances et les budgets. Les tableaux 1 à 3 présentent une liste des pays qui participent à des projets internationaux dans des laboratoires souterrains de recherche. Parmi les avantages de la collaboration internationale, on peut citer :

Gisement de compétences élargi

Les projets de coopération internationale sont un lieu où les meilleurs scientifiques tant par leurs compétences que par leur expérience travaillent en commun. Ce gisement de talents favorise le brassage d'idées et une progression rapide des recherches.

Multiplication des contacts et transferts de savoir-faire

L'essor des collaborations internationales dans les laboratoires souterrains a pour conséquence directe une multiplication des contacts internationaux et interdisciplinaires et des transferts de connaissances, avec des rejaillissements sur d'autres secteurs de l'aménagement d'un dépôt, comme par exemple la caractérisation des sites et l'évaluation des performances.

Rentabilité

Toutes les parties prenantes à un projet international profitent des résultats de recherches dont ils ont partagé les frais. Le pays où se trouve le laboratoire bénéficie quant à lui des résultats des efforts des autres participants dont la valeur est à la fois globale et spécifique puisque les études ont été

conduites dans son propre laboratoire. Les autres pays, quant à eux, peuvent tirer profit de l'exemple de leurs partenaires, acquérir une expérience pratique, se forger une expertise technique et managériale, soit autant d'acquis susceptibles d'améliorer l'efficacité de leur propre programme de construction de dépôt lorsqu'ils atteindront le stade du laboratoire souterrain. En outre, la collaboration internationale, lorsqu'elle s'applique à des expériences particulières comme des essais de concepts de scellement dans la roche cristalline, évite aussi d'avoir à réitérer à grands frais des recherches compliquées.

Notoriété internationale et crédibilité

Ouvrir un laboratoire souterrain de recherche à la collaboration internationale est un moyen, pour le programme du pays hôte, de gagner en notoriété et en crédibilité internationales. En effet, le fait d'accueillir des experts, de favoriser les expertises et la diffusion des résultats à un public plus large favorise la confiance. Par ces initiatives, on démontre au public, aux spécialistes et à toute autre partie prenante, qu'il existe un consensus international quant aux problèmes importants et aux démarches à suivre pour les régler.

6. CONCLUSIONS

La construction d'un laboratoire souterrain de recherche et/ou la participation à des études et recherches menées dans des laboratoires étrangers pays sont des étapes très utiles aux programmes de stockage des déchets radioactifs dans des formations géologiques profondes. Ces laboratoires apportent les informations et la confiance techniques essentielles, voire, à certains moments, vitales pour le choix du site de stockage, la conception du dépôt, la constitution de la base technique associée et l'évaluation de la sûreté. Certains types d'informations et d'expérience indispensables à la caractérisation, la construction et l'exploitation d'un dépôt en formation géologique ne sont accessibles que dans le milieu géologique. De même, ce n'est qu'en profondeur, que l'on peut acquérir la conviction de la validité de la conception de l'installation et du choix de la roche hôte ainsi que de la faisabilité technique du dépôt. Tous ces facteurs jouent un grand rôle dans la construction du dossier de sûreté d'un dépôt.

Les laboratoires souterrains peuvent être soit consacrés entièrement à la recherche et construits sur des sites où aucun déchet ne sera stocké, soit au contraire, destinés à étudier un site particulier, auquel cas, les études scientifiques et les autres activités qui y seront menées seront conçues comme une étape préalable à la construction et à l'exploitation du dépôt. Ils constituent une excellente occasion d'intégrer plusieurs disciplines (la géologie, l'hydrologie et l'ingénierie), de constituer des équipes techniques et d'accumuler une expérience pratique irremplaçable en prévision de la construction d'un dépôt. Les laboratoires souterrains offrent aussi des possibilités uniques en leur genre d'apporter la démonstration du concept de stockage et de la faisabilité technique du programme de construction de dépôt et, par ailleurs de convaincre, le public que le programme repose sur des bases solides et qu'il est mené de manière responsable par des gestionnaires de déchets dignes de confiance.

Autre avantage des laboratoires souterrains, ils attirent la collaboration internationale. Cette collaboration permet de bénéficier d'un gisement plus large de talents, favorise les contacts et les transferts de savoir-faire utiles dans d'autres domaines de l'aménagement d'un dépôt, constitue un moyen

économique de réaliser des expériences étant donné que les frais sont répartis entre différents pays, rehausse la notoriété internationale et la validité technique du projet et suscite la confiance dans l'organisme chargé de gérer les déchets et dans la faisabilité du stockage en formation géologique.

Avec le temps, les travaux réalisés dans les laboratoires souterrains ont évolué. Dans les premiers laboratoires, la priorité était donnée à la mise au point de matériels et de méthodologies d'essais et à la réalisation d'expériences destinées à approfondir notre compréhension des principaux mécanismes ainsi qu'à la conduite d'études de faisabilité technique et à la collecte de données géologiques fondamentales. Aujourd'hui, les efforts sont davantage centrés sur l'adaptation et l'optimisation des matériels et techniques mis au point sur d'autres sites en fonction des conditions spécifiques sur un site particulier, sur la constitution des jeux de données destinés à tester les modèles et sur la levée des incertitudes et l'amélioration de la confiance dans le dossier de sûreté. Les expériences à pleine échelle de type démonstration réalisées sur les systèmes de barrières ouvragées sont aussi plus fréquentes.

Ces laboratoires souterrains auront des rôles importants à jouer tant pendant l'exploitation du dépôt qu'après sa fermeture. Ils peuvent être exploités en tant que dépôts « factices » pendant le stockage de déchets réels dans les vrais dépôts. Pendant la phase d'exploitation des stockages, voire au-delà, les performances des colis de déchets, du remblayage et des autres barrières ouvragées pourront être vérifiées par divers moyens, parfois intrusifs, qu'il ne serait ni possible ni souhaitable d'utiliser dans les dépôts eux-mêmes. Au cas où l'on envisagerait de retirer les déchets, les laboratoires souterrains pourraient également servir de banc d'essais pour la mise au point de méthodes et de matériel et pour l'acquisition d'expérience. On pourra y surveiller, sur plusieurs dizaines d'années, certains aspects du comportement de la géosphère afin de vérifier ou de revoir, les hypothèses adoptées dans les analyses de sûreté.

L'intérêt des laboratoires souterrains vis-à-vis de la confiance du public peut être considérable. Dans un laboratoire souterrain ouvert au public, ce dernier aura l'occasion de prendre connaissance des technologies mises au point et employées, de rencontrer les scientifiques et les ingénieurs qui participent aux projets et de leur soumettre directement ses questions et ses préoccupations, mais aussi de constater par lui-même la nature du confinement que procure le milieu géologique profond. Cela permettra ainsi d'instaurer un climat de confiance et l'acceptation par le public du programme de dépôt. C'est pourquoi, la mise en place d'un laboratoire de recherche souterrain peut être considérée comme un élément clef au succès du programme de dépôt.

OUVRAGES RECOMMANDÉS

Ouvrages généralistes

Andersson, J. 1999. *A Study on the Co-operation of Research in Underground Facilities within the EU on Aspects of Disposal of Radioactive Waste*. EC DOC.XII-53-99. 14 p.

C. McCombie et W. Kickmaier. 2000. « Underground Research Laboratories: their roles in demonstrating repository concepts and communicating with the public ». *Euradwaste 1999, Radioactive waste management strategies and issues*, Cinquième conférence de la Commission européenne sur la gestion et le stockage des déchets radioactifs et sur le déclassement des installations nucléaires, Luxembourg, 15 au 18 novembre 1999; European Commission Report EUR 19143, 274-281.

AEN 1999. *Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories – Its Development and Communication*. OCDE/AEN, Paris, France.

AEN 2000a. *Évacuation géologique des déchets radioactifs – Bilan des dix dernières années*. OCDE/AEN, Paris, France.

AEN 2000b. *Où en est l'évacuation des déchets radioactifs en formations géologiques ?* OCDE/AEN, Paris, France.

Savage, D. (ed.). 1995. *The Scientific and Regulatory Basis for the Geological Disposal of Radioactive Waste*. John Wiley and Sons, Chichester, 437 p.

W. Wildi, D. Appel, M. Buser, F. Dermange, A. Eckhardt, P. Hufschmied, H.-R. Keusen et M. Aebersold. 2000. *Disposal Concepts for Radioactive Waste, Final Report*. Office Fédéral de l'Énergie, Berne, Suisse.

Ouvrages techniques

- C. Fairhurst, F. Gera, P. Gnirk, M. Gray et B. Stillborg. 1993. *OECD/NEA International Stripa Project, Overview Volume I, Executive Summary* ; SKB, Stockholm, Suède.
- B. Haijntink et C. Davies (éditeurs). 1998. *In situ testing in underground research laboratories for radioactive waste disposal. Proceedings of a CLUSTER seminar*, Alden Biesen, Belgique, 10-11 décembre 1997. European Commission Report EUR 18323.
- AIEA (en préparation). *The Use of Results Obtained from Underground Research Laboratory Investigations*. IAEA-TECDOC, AIEA, Vienne, Autriche.
- W. Kickmaier et I. McKinley. 1997. « A review of research carried out in European rock laboratories ». *Nuclear Engineering and Design*, 176, 75-81.
- AEN 2001. *Going Underground for Testing, Characterisation and Demonstration*. NEA/RWM/(2001)6/REV, OCDE/AEN, Paris, France.
- Olsson, O. 1998. « The role of the Äspö Hard Rock Laboratory in the Swedish nuclear waste programme » ; *Proceedings of Waste Management 1998*.
- SKB 1996. *Äspö Hard Rock Laboratory, 10 Years of Research* ; SKB, Stockholm, Suède.
- USDOE 2001. *Proceedings of the Conference on Geologic Repositories: Facing Common Challenges*. 31 octobre – 3 novembre, 1999, Denver, Colorado. U.S. Department of Energy.

ACRONYMES

EACL	L'énergie atomique du Canada, Limitée
ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, France
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz, Allemagne
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe, mbH, Allemagne
ESF	Exploratory Studies Facility, Yucca Mountain, Etats-Unis
GIE EURIDICE	Groupement d'Intérêt Economique – European Underground Research Infrastructure for Disposal of Nuclear Waste in Clay Environment, Belgique
GSF	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, mbH, Allemagne
GTS	Grimsel Test Site, Suisse
HADES	High-Activity Disposal Experiment Site, Mol, Belgique
DMA	déchets de moyenne activité
IPSN	Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, France
JNC	Japan Nuclear Cycle Development Institute (anciennement PNC)
DFA	Déchets de faible activité

Nagra/Cedra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle – Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs, Suisse
AEN	Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris, France
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, France
Posiva	Entreprise finlandaise de gestion des déchets radioactifs
PURAM	Agence de gestion des déchets radioactifs, Hongrie
SEDE	Groupe de coordination sur l'évaluation des sites et la conception des expériences pour l'évacuation des déchets radioactifs (AEN)
SHGN	Service hydrologique et géologique national
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB, Suède
URF	Underground Research Facility, Mol, Belgique
URL	Underground Research Laboratory, Lac du Bonnet, Canada
USDOE	United States Department of Energy
WIPP	Waste Isolation Pilot Plant, Carlsbad, Nouveau Mexique, États-Unis

ÉGALEMENT DISPONIBLE

Publications de l'AEN d'intérêt général

Rapport annuel 2000 (2001)

Gratuit sur demande.

AEN Infos

ISSN1605-959X

Abonnement annuel : 37 US\$ 45 GBP 26 ¥ 4 800

Le Point sur l'évacuation des déchets radioactifs en formations géologiques (2000)

ISBN 92-64-28425-7

Prix : 20 US\$ 20 GBP 12 ¥ 2 050

Programmes de gestion des déchets radioactifs des pays Membres de l'AEN/OCDE (1998)

ISBN 92-64-26033-1

Prix : 32 US\$ 33 GBP 20 ¥ 4 150

Gestion des déchets radioactifs

Using Thermodynamic Sorption Models for Guiding Radioelement Distribution Coefficient (KD) Investigations – A Status Report (2001)

ISBN 92-64-18679-4

Prix : 50 US\$ 45 £ 31 ¥ 5 050

Gas Generation and Migration in Radioactive Waste Disposal – Safety-relevant Issues (2001)

ISBN 92-64-18672-7

Prix : 45 US\$ 39 £ 27 ¥ 4 300

Confidence in Models of Radionuclide Transport for Site-specific Assessment (2001)

ISBN 92-64-18620-4

Prix : 96 US\$ 84 £ 58 ¥ 9 100

Nuclear Waste Bulletin – Update on Waste Management Policies and Programmes, No 14, 2000 Edition (2001)

ISBN 92-64-18461-9

Gratuit : versions papier ou web.

Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste – An International Database (2000)

ISBN 92-64-18514-3

Prix : 25 US\$ 24 GBP 15 ¥ 2 900

Évaluation des dépôts géologiques profonds dans un contexte réglementaire – Enseignements tirés (2000)

ISBN 92-64-05886-9 Bilingue

Prix : 34 US\$ 32 GBP 20 ¥ 3 400

Domaines stratégiques dans la gestion des déchets – Position du Comité de l'AEN de la gestion des déchets radioactifs et orientations de ses travaux (2000)

Disponible sur le web.

Stakeholder Confidence and Radioactive Waste Disposal (2000)

ISBN 92-64-18277-2

Gratuit : versions papier ou web.

La réversibilité et la récupérabilité dans la gestion des déchets radioactifs – Une réflexion à l'échelle internationale (2001)

ISBN 92-64-28471-0

Gratuit : versions papier ou web.

Bon de commande au dos.

L'AEN remercie le Gouvernement du Japon pour avoir
facilité la production de ce rapport.

本報告書の作成に関し、日本政府の協力を謝意を表す。

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE