

Où en est le projet international de Stripa?

Etat des recherches sur les déchets nucléaires dans une mine désaffectée de Suède

par Hans Carlsson



Le projet de Stripa est une expérience internationale menée dans une mine de fer désaffectée du centre de la Suède. Les expériences faites dans des formations rocheuses granitiques situées à grande profondeur, dans des conditions bien représentatives, portent sur divers problèmes que soulève l'élimination de rejets fortement radioactifs résultant de la production d'énergie d'origine nucléaire. La mine de Stripa n'est rien d'autre qu'une station d'essai et il n'est nullement question d'y utiliser ou d'y entreposer des matières radioactives.

Il s'agit d'une expérience autonome patronnée par l'Agence de l'Organisation de coopération et de développement économiques pour l'énergie nucléaire (OCDE/AEN) et menée par la Division de recherche et de développement de la Société suédoise du combustible nucléaire et de gestion des déchets (SKB) sous la direction de représentants de chacun des pays participants à savoir: le Canada, l'Espagne, les Etats-Unis d'Amérique, la Finlande, la France, le Japon, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse.

Le projet a démarré en 1980. Certaines des recherches ont déjà été menées à terme, les autres seront achevées courant 1986. Toutefois des négociations relatives à des études complémentaires, qui devraient entraîner une prolongation des expériences sont en cours. Les expériences se font essentiellement à 360 mètres de profondeur dans du granit gris à rouge clair de granulométrie moyenne.

Programme de recherche 1980-1986

Le projet de Stripa comprend plusieurs sous-projets dont les objectifs, les budgets et les calendriers sont différents. Les recherches portent essentiellement sur les domaines suivants:

- détection et relevé des zones de fracture
- caractéristiques des eaux souterraines et migration des nucléides
- usage de la bentonite comme matériau de remblayage et de colmatage.

Les résultats obtenus sont présentés dans des rapports internes et techniques trimestriels. Un colloque international où l'on a exposé les expériences et les résultats obtenus s'est réuni en juin 1985. On peut se procurer les comptes rendus de ce colloque auprès de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE*.

Détection et relevé des zones de fracture

Pendant les longues périodes où les déchets nucléaires restent radioactifs, il faut étudier les risques que des radionucléides ne s'échappent du dépôt et ne se trouvent transportés dans l'atmosphère. Le seul mécanisme probable de rejet est leur dissolution et leur transport par les eaux de ruissellement souterraines. C'est dans les zones de fracture existantes qu'a lieu l'écoulement dominant des eaux souterraines et c'est pourquoi il importe absolument de définir ces zones.

Les recherches sur forages croisés ont pour objectif de mettre au point et d'essayer des méthodes géophysiques et hydrauliques ainsi que des instruments permettant de détecter et d'établir les relevés des zones de fracture tels qu'appareils électromagnétiques (radar), sismiques et hydrauliques (ondes sinusoïdales).

Les recherches sont menées tant sur des forages isolés que sur des forages groupés. Différents types de signaux sont transmis à travers la roche et toute perturbation telle qu'une zone de fracture influe sur leur transmission. On peut ainsi déterminer l'emplacement et l'orientation des zones de fracture en faisant des essais dans un grand nombre de sections des trous de sonde.

A Stripa la majeure partie des recherches se fait dans des trous forés selon une géométrie particulière et situés à la cote -360 mètres. Les essais ont porté sur une masse rocheuse de quelque trois millions de mètres cubes à partir de six trous de sondage disposés en éventail et espacés au maximum de 200 mètres. On a mené un programme très poussé de recherches de type courant sur chacun de ces trous afin de constituer une base de données permettant de faire une comparaison avec les résultats obtenus à l'aide des nouvelles méthodes.

M. Carlsson travaille à la Division de recherche et de développement de la SKB, à Stockholm.

* Adresse: 38, Boulevard Suchet, 75016 Paris (France).

Nouveau système radar

Un nouveau système radar construit et essayé à Stripa a permis d'obtenir des échos très nets sur des zones de fracture existantes situées jusqu'à 100 mètres des trous de sondage. Les résultats obtenus jusqu'à présent ont montré les grandes possibilités de ce système pour la recherche des zones de fracture. Il est particulièrement encourageant de constater que la plupart des zones semblent réfléchir très bien les ondes émises par le radar.

Toutes les zones précédemment repérées à partir de carottages et de colonnes stratigraphiques ont été confirmées par l'analyse des mesures faites par radar et plusieurs zones nouvelles ont été découvertes. Il a été tenu compte de tous les échos importants, ce qui prouve que la méthode donne des résultats cohérents.

Pour résumer, on peut dire que le système radar s'est montré particulièrement efficace pour la détection et la description des zones de fracture. Beaucoup reste encore à faire pour donner une description physique des régions fracturées mais il est évident que le problème purement géométrique que pose la description de leur orientation pourra être résolu de manière probante.

Essais hydrauliques

Les essais hydrauliques faits dans le cadre des recherches sur forages croisés comportent la transmission de divers signaux hydrauliques entre deux ou plusieurs trous de sonde. En traversant la roche acquifère, le signal est modifié par l'interaction entre les fractures et la roche encaissante. L'interprétation mathématique des perturbations du signal permet de chiffrer divers

paramètres hydrogéologiques intéressants. La méthode des forages croisés combine des techniques classiques d'interférence à la méthode sinusoidale, qui est d'un emploi plus récent. De plus, on a procédé à presque toutes les formes d'essais dynamiques sur ces trous isolés, y compris les essais avec débit constant, pression constante, débit intermittent et débit pulsé.

Le système d'essai, qui a été conçu pour fonctionner à 360 mètres sous terre dans la mine de Stripa, se prête également à des mesures hydrogéologiques dans n'importe quelle cavité de la mine où la pression de l'eau est supérieure à la pression atmosphérique.

Une étude sismique a été faite à Stripa à l'aide du dispositif expérimental et l'on procède actuellement à une comparaison des mesures radar et des mesures hydrauliques. Cependant les recherches sismiques peuvent être faites sur des distances de 500 mètres ou plus entre l'émetteur et le récepteur en sorte que la mine de Stripa n'est pas idéale comme lieu d'essais. C'est pourquoi, indépendamment de Stripa, on utilise la mine de Gideå, dans le nord de la Suède, comme site d'essais supplémentaire. La géologie de Gideå a déjà fait l'objet de recherches très complètes menées par la SKB au titre de son programme de sélection d'un site possible pour un dépôt de combustible nucléaire épuisé.

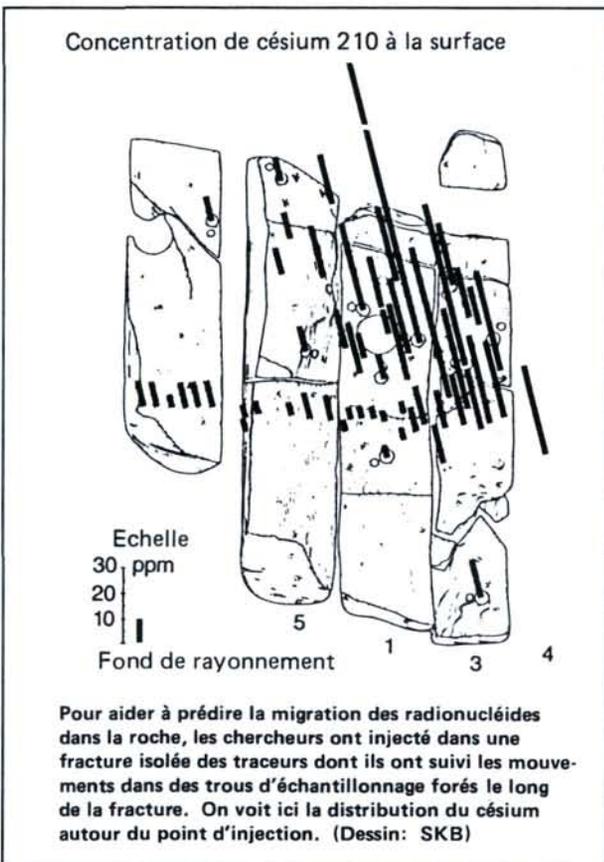
Caractéristiques des eaux souterraines et migration des nucléides

Une partie des recherches menées à Stripa vise à déterminer la dynamique des eaux souterraines et à établir un programme général d'échantillonnage et d'analyse des eaux contenues dans les roches cristallines. On prélève les échantillons d'eau à une profondeur maximum de 1200 mètres. Une conclusion essentielle à laquelle les études ont permis jusqu'ici d'aboutir est que les diverses substances dissoutes ont des temps de séjour différents. Ce phénomène est dû à ce qu'ils ont des origines différentes et des évolutions différentes qu'il est possible ou non de rapporter à l'évolution globale des eaux souterraines proprement dites. Il importe d'en tenir compte dans la détermination de l'âge des eaux souterraines.

Pour prévoir comment les radionucléides opèrent leur migration avec les eaux souterraines qui se trouvent dans les fractures de la roche, il importe de bien comprendre les phénomènes en cause. Pour pouvoir les mesurer, il faut avoir des données sur les écoulements et le transport dans des fractures réelles et dans des conditions représentatives. Les modèles de prévision doivent tenir compte des phénomènes et des mécanismes importants.

L'établissement d'un modèle de migration pour l'analyse de sûreté d'un dépôt de déchets dans de la roche granitique repose sur l'hypothèse que, si les radionucléides des déchets sont emportés par lixiviation, pratiquement tous ceux qui sont importants vont réagir, chimiquement ou physiquement, avec le socle rocheux et leur migration s'en trouvera considérablement retardée. L'importance du retard dépend du débit de l'eau, du taux d'absorption et de l'équilibre des réactions ainsi que de la surface en contact avec l'eau.

Dans une étude sur la «Migration», on a injecté dans une fracture isolée des traceurs tant non sorbants que





Dans le cadre des expériences faites pour déterminer le cheminement des eaux, les chercheurs ont recouvert les parois de cette galerie de feuilles de plastique pour recueillir des échantillons d'eau. (Photo: SKB)

sorbants qui simulaient les radionucléides. On a relevé les temps d'arrivée et les concentrations de ces traceurs en prélevant des échantillons dans des forages pratiqués le long de la fracture à cinq mètres environ du point d'injection. On a en outre prélevé par forage avec un carottier à couronne diamantée des échantillons de la fracture à proximité du point d'injection. Les résultats des essais *in situ* et des essais complémentaires faits en laboratoire ont montré que deux mécanismes influent sur l'importance du retard des radionucléides en migration:

- leur diffusion dans la roche adjacente à la fracture et leur sorption ultérieure sur les faces internes;
- leur acheminement dans la fracture dont certaines parties seulement laissent passer l'eau.

Le premier mécanisme augmente considérablement la faculté que la roche a de retarder les radionucléides. Le second contrarie le premier en ce qu'il réduit la surface de contact entre l'eau qui s'écoule et la roche. Il peut également donner lieu à des écoulements rapides.

Essai de migration en grand

Une expérience de migration massive de traceurs est actuellement en cours à Stripa. Il s'agit de comprendre la répartition spatiale des cheminements de l'eau dans la roche cristalline sur longue distance (jusqu'à 50 mètres).

Le site expérimental est aménagé à 360 mètres de fond. A ce niveau, l'eau s'écoule constamment dans la galerie qui se trouve bien en dessous de la surface piézométrique. On injecte dans ce courant d'eau des traceurs non sorbants. Le site expérimental se compose de deux galeries qui se croisent, d'une longueur totale de 100 mètres. Trois trous d'injection verticaux ont été forés dans le sens de la hauteur jusqu'à la cote de -70 mètres. Les traceurs sont injectés en neuf points de ces trous où la perméabilité est supérieure à celle de la roche moyenne. La voûte et certaines parties des parois de la galerie sont recouvertes de feuilles de plastique qui servent à recueillir des échantillons d'eau en vue d'une analyse ultérieure.

Il ressort des premiers renseignements recueillis lors des essais de migration en grand que l'eau ne s'écoule pas de manière uniforme dans la roche, du moins pour les distances considérées. De toute évidence il n'est pas possible, à cette échelle, de dire que l'eau s'écoule dans un milieu poreux homogène. En revanche il semble que le cheminement joue un rôle important.

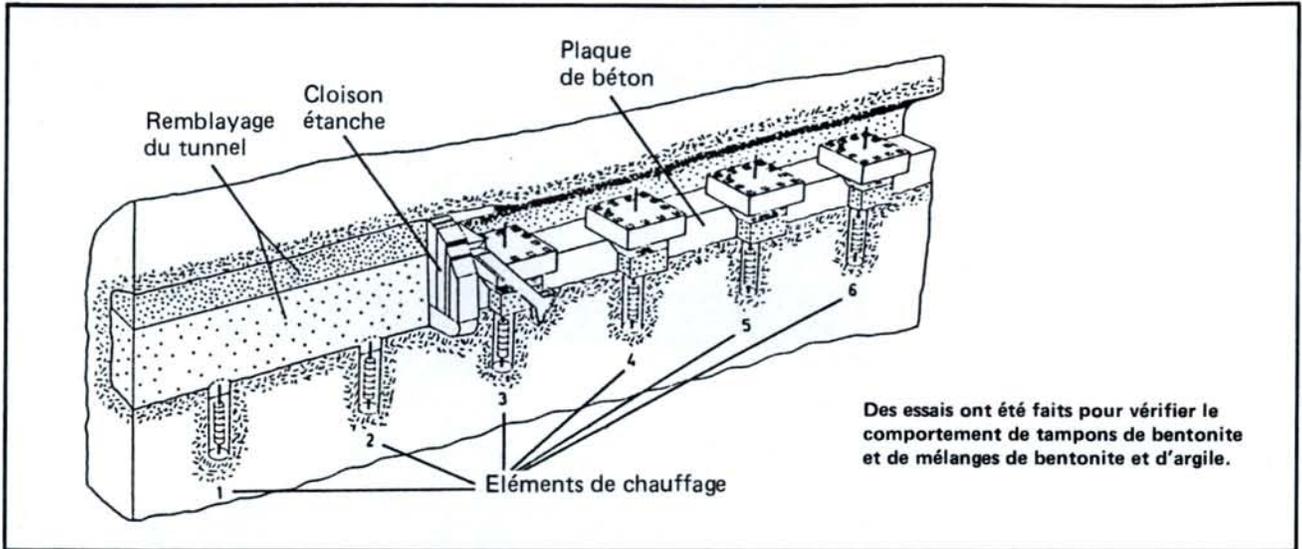
Essais de matériaux tampon et de colmatage

L'essai dit de la masse tampon, qui a débuté en 1980, s'est achevé en 1985. Six grands trous de forage d'un diamètre de 0,75 mètre et d'une profondeur de quelque 3,5 mètres ont servi de réceptacles à des fûts de déchets simulés entourés de bentonite très compactée et enfouis sous un mélange de sable et de bentonite. Une partie de la galerie expérimentale a été complètement remplie d'un mélange sable-bentonite.

L'essai avait pour but de vérifier que les matériaux tampon à base de bentonite conviennent bien et se comportent comme prévu dans les conditions représentatives. On a ainsi mesuré les températures, l'absorption d'eau, le gonflement et les pressions de l'eau. La puissance de chauffe a été réglée à 600 watts mais on a également procédé à des essais à haute puissance de 1200 et 1800 watts. On a vidé les réceptacles après des périodes allant de 10 à 40 mois et examiné de près la masse de bentonite. On a même retiré la partie remblayée de la galerie après une période de 33 mois.

La plupart des travaux *in situ* ont été achevés courant 1984. L'expérience, qui a été concluante, montre que le remplissage de bentonite double tous les vides par gonflement après saturation acquise, ce qui corrobore les résultats obtenus en laboratoire.

Un certain nombre d'essais en cours portent sur la bentonite en tant que matériau de colmatage des forages, puits et galeries. L'expérience de colmatage des trous de forage a pour but d'éprouver la technique d'application et la vitesse de gonflement de la bentonite ainsi que son adhérence à la roche. Les trous de forage sont obturés par des blocs cylindriques de bentonite fortement



tassée entourés d'une chemise en cuivre perforée ou d'un treillis de fils d'acier.

Il est également possible d'obturer ou d'isoler avec de la bentonite fortement tassée des fractures aquifères ou des zones de fracture qui croisent des puits ou des tunnels. Dans l'expérience de colmatage de puits, deux bouchons de bentonite sont séparés par une chambre d'injection remplie de sable simulant une fracture aquifère. Pour l'évaluation, on compare le débit d'injection avec celui d'un essai de référence pour lequel du béton tenait lieu de bentonite.

On fait également des essais avec de la bentonite fortement tassée aux fins de colmatage d'une zone aquifère très fracturée qui croise une galerie. La zone de fracture aquifère est simulée par des canalisations d'eau enfouies dans du sable. Tous les préparatifs sont terminés et les premiers essais, même sous fortes pressions

d'eau (3MPa), montrent que la bentonite est un excellent matériau de colmatage, comme on pouvait le prévoir.

Références techniques

- *Projet Stripa – Rapport annuel 1984*, SKB, Projet Stripa TR 85-07, Stockholm (1985).
- *Annual Research and Development Report 1984*, SKB, TR 85-01, Stockholm (1985).
- *Stripa Project – Executive Summary of the Phase I Activities*, SKB, Stockholm (in press).
- *Radioactive Waste Disposal – In Situ Experiments in Granite*, Proceedings of the Second NEA/Stripa Project Symposium, OECD/NEA, Paris (1985).

