

# Compte-rendu de la visite à Tournemire

## Station expérimentale de l'IRSN à Tournemire, 6 mai 2010

### **1. Organisation :**

Le déplacement s'est déroulé du 5 au 7 mai 2010 et nous avons été une vingtaine de membres du CLIS à visiter la Station Expérimentale de Tournemire (Aveyron).

Nous avons commencé la visite par une présentation en salle des membres de l'IRSN et de leurs travaux. Puis nous nous sommes équipés pour aller visiter la station expérimentale. Ensuite, nous avons pris le repas de midi avec les représentants de l'IRSN et M<sup>m</sup>e la maire de Tournemire. Enfin, nous sommes retournés dans les locaux de l'IRSN pour des ateliers thématiques avec présentations et discussions.

### **2. Présentation de l'IRSN :**

L'IRSN est issu de la fusion de l'IPSN et de l'OPRI en 2002. Il exerce le rôle d'expert public dans le domaine des risques nucléaires et radiologiques. L'IRSN compte environ 1700 salariés.

Les activités de recherche sur la sûreté du stockage géologique visent en premier lieu l'acquisition des connaissances et compétences nécessaires à l'expertise. Elles contribuent également à la stimulation de la réflexion scientifique et peuvent dans certains cas conduire à orienter les recherches de l'Andra. D'une manière plus générale, elles peuvent contribuer à la crédibilité du processus de décision. La spécificité des recherches de l'IRSN est qu'elles sont au service de l'expertise en sûreté et ont avant tout une vocation méthodologique (fiabilité des approches, qualité des données). Elles se distinguent en cela de celles de l'Andra qui s'inscrivent dans un travail de caractérisation et de qualification de site et de conception d'un projet industriel.

Nous avons rencontré des personnes de 2 unités de l'IRSN :

- DSU / SSIAD : expertise, intégration
- DEI / SARG : recherche expérimentale

L'équipe IRSN impliquée dans le projet relatif à la sûreté du stockage géologique représente une vingtaine d'ingénieurs et chercheurs, une dizaine de thésards et post-doctorants.

L'IRSN collabore avec de nombreux autres organismes de recherche : CNRS (programmes TRASSE et MOMAS), INERIS, LCPC, CEA, EDF, BRGM, NAGRA, Mines Paris Tech, ENS Cachan, universités de Paris 6 et 11, d'Orsay, de Grenoble, de Toulouse, de Poitiers... Il est impliqué dans plusieurs programmes de recherche internationaux : projet européen FORGE, consortium Mont Terri (station expérimentale souterraine en Suisse), consortium DECOVALEX...

### **3. Le site de Tournemire :**

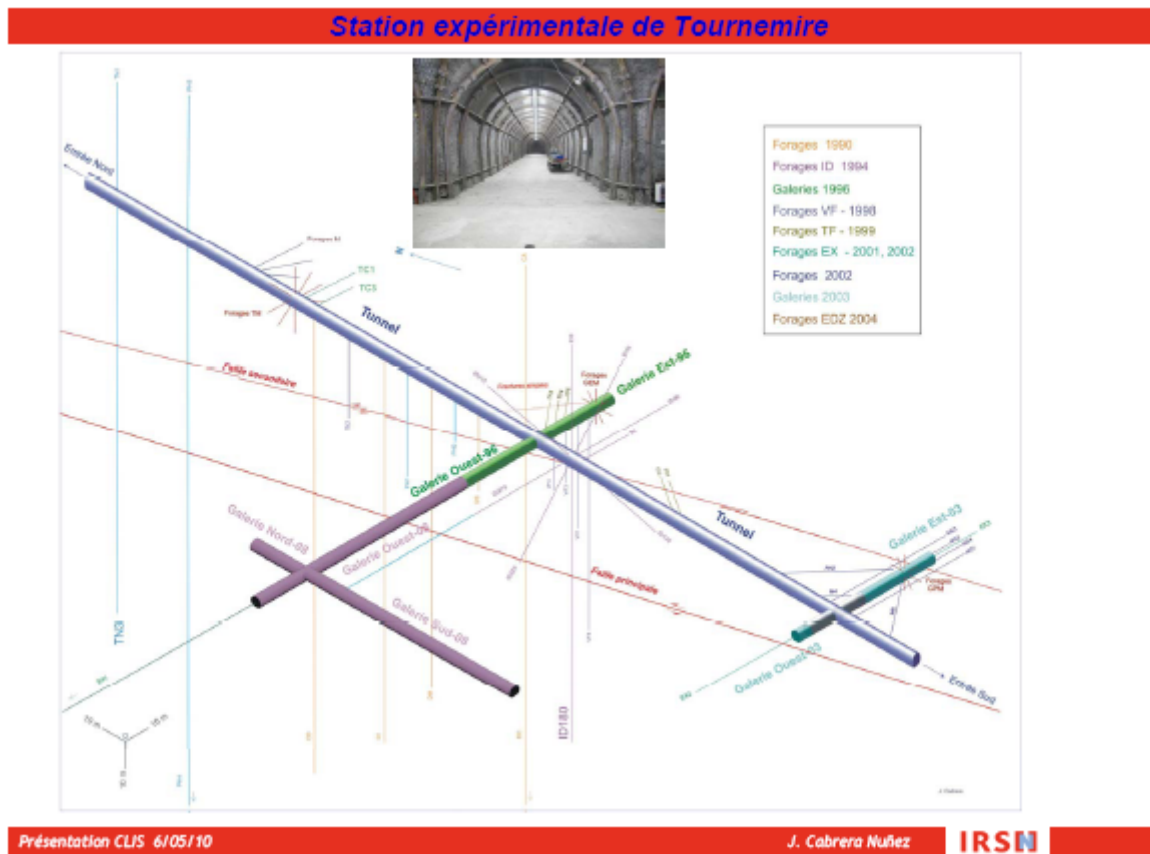
La Station Expérimentale est située à proximité de Tournemire, dans des couches calcaires et argileuses. La roche argileuse a une épaisseur de 250 m et date de 180 millions d'années ; l'argilite qui la compose est comparable à celle de Bure. Il y a des aquifères au dessus et au dessous (calcaires Aalénien et Carixien). Il y a aussi une faille majeure à proximité : la faille du Cernon. L'accès à la station expérimentale se fait par un ancien tunnel ferroviaire de 1885 m de long, creusé il y a plus de 120 ans. Les études menées ici portent sur les propriétés de confinement de l'argilite, le rôle des discontinuités sur les transferts d'eau, l'impact des creusements, l'interaction entre les roches et les matériaux des ouvrages (acier, fer, béton), les performances des ouvrages de scellement. L'IRSN a creusé 285 m de galeries, et réalisé plus de 200 forages. Le personnel IRSN n'est pas présent en permanence sur le site, mais réalise des missions ponctuelles.

Dans le cadre de ses missions d'expertise, l'IRSN réalise les analyses techniques des dossiers de l'Andra pour l'ASN. Il participe aussi aux auditions de la CNE. Le financement est un financement public ; il provient pour l'essentiel d'une ligne du budget de l'état consacré à la recherche dans le domaine des risques et des pollutions.

En réponse à une question d'un membre du CLIS, l'IRSN confirme travailler d'une façon ponctuelle sur le site de Bure. Des protocoles ont été établis avec l'Andra pour permettre le suivi des travaux, l'accès aux données, aux échantillons (roches, eaux) ; l'IRSN est également impliqué dans le programme de recherche TAPPS 2000 mis en place autour du forage Trias. L'IRSN a analysé les documents produits par l'Andra pour justifier le choix de la ZIRA et a produit un avis qui a servi de base pour l'avis de l'ASN. Les deux avis sont accessibles via les sites internet de l'ASN et de l'IRSN.

Avis de l'IRSN :

([http://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/Avis\\_IRSN\\_ZIRA\\_22122009.pdf](http://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/Avis_IRSN_ZIRA_22122009.pdf))



#### 4. Présentation sur les travaux menés par l'IRSN :

- a) Etude sur les propriétés de confinement et phénomènes de transport dans la formation argileuse de Tournemire.

Ces études portent sur la capacité de la barrière géologique (BG) à retenir les radionucléides. Les écoulements sont très lents, la perméabilité est très faible. Le phénomène de transport dominant est la diffusion.

L'argilite de Tournemire est comparable à celle de Bure, mais présente quelques différences : porosité de 10 % (2 fois moins) ; conductivité hydraulique de  $1E-15$  m/s (100 fois moins) en général mais  $1E-9$  m/s dans les zones fracturées ; eau très peu salée 0,5 à 1,5 g/l (7 g/l à Bure). Les coefficients de diffusion sont comparables et permettent la transposabilité des techniques. La datation de l'eau présente dans certaines fractures d'origine tectonique intersectées par les galeries indique un âge d'environ 15 000 ans (provenant de l'aquifère supérieur).

Les analogies : couche argileuse indurée, encadrée de 2 aquifères, stratification subhorizontale, minéralogie et chimie proches.

Les différences : moins poreuse, moins perméable, failles identifiées.

Les couches d'argile de Tournemire et Bure appartiennent à la même famille de roche en terme mécanique, alors que Mol (Belgique) est plus éloigné.

La diffusion est étudiée à l'aide des traceurs naturels présents dans la roche ou à partir d'essais sur des échantillons avec des traceurs artificiels. 2 méthodes ont été mises en œuvre par l'IRSN pour les essais de diffusion sur échantillons, dont celle utilisée par l'Andra. Comme pour les argilites de Bure, seul le tiers de la porosité totale est accessible aux anions, ce qui est expliqué par un phénomène d'exclusion anionique.

L'étude de la diffusion avec des traceurs naturels montre quant à elle une diffusion dominante à grande échelle, malgré les fractures.

Dans la zone fracturée, par contre, l'écoulement (advection) est dominant mais n'impacte que très peu la roche environnante.

Un point particulier est l'observation de surpressions à Tournemire comme à Bure. Une cause possible est l'osmose chimique ; l'osmose thermique pourrait également y contribuer. D'autres phénomènes pourraient aussi expliquer ces surpressions (compression tectonique par la poussée de la chaîne pyrénéenne, l'érosion...).

#### **b) Etude sur les performances des dispositifs de fermeture.**

Les réflexions actuelles sur l'exploitation du futur stockage conduisent l'Andra à envisager la possibilité d'une fermeture progressive : d'abord la phase de construction et la mise en service industriel avec le remplissage des premières alvéoles, puis choix décisionnel (scellement d'alvéoles, remblais d'appui, remblais courants, scellement des puits et galeries).

Les points clefs : évaluer la performance des dispositifs de fermeture (impact des perturbations sur les propriétés de confinement) et leur faisabilité technique.

A Tournemire, il est prévu des essais in situ avec des noyaux argileux gonflants. Les performances du scellement sont essentiellement liées au noyau et à l'interface bentonite MX80/roche. La mise en place de ces essais débutera dans 4 mois et se poursuivra jusqu'en 2013.

L'IRSN ne prévoit pas d'études des coûts des solutions préconisées par l'Andra car il s'agit de considérations qui ne rentrent pas dans son champ d'expertise.

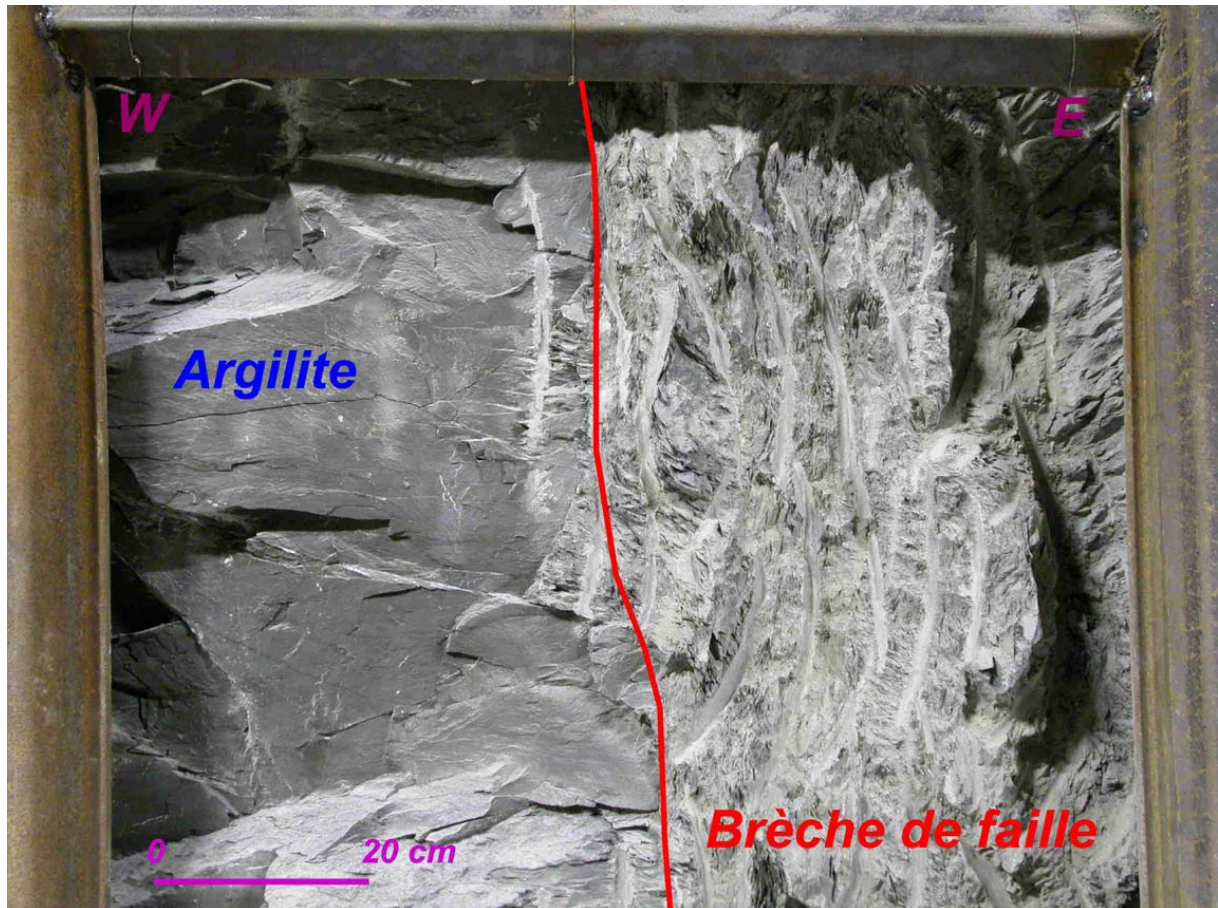
### **5. La visite de la Station Expérimentale :**

Le tunnel est un ancien ouvrage ferroviaire de 1885 m de long, qui traverse la couche argileuse. 6 galeries ont été creusées par l'IRSN : 4 dans des zones saines et deux traversant des zones fracturées et failles d'origine tectonique. On peut observer des fissures, localement, suite à la désaturation en particulier. Les failles sont d'origine tectonique (faille principale d'échelle kilométrique et faille secondaire), mais on a pu observer qu'il n'y a pas d'eau. La faille régionale proche (faille du Cernon) est comparable à celle de Gondrecourt avec une extension de plusieurs dizaines de km.

Des forages ont été réalisés. Cela a permis la récupération d'eau porale. La perméabilité est très faible, même dans les petites fractures, il est très difficile de récupérer de l'eau, alors même que le tunnel est 50 m sous l'aquifère supérieur. Nous avons pu observer des petites failles scellées (par de la calcite), sans aucun transfert. Nous avons aussi vu de petites failles en échelon. Elles correspondent à des zones de relais et sont associées à des possibilités de circulation d'eau (eau d'âge d'environ 15 000 ans).

Tout l'intérêt d'étudier le passé de la roche réside dans le fait que cela permet de prédire son évolution future.

Nous enchainons sur la visite de la galerie Ouest que traverse la zone de faille. On peut observer une roche broyée, mais aucune trace d'eau.



La zone de faille fait 7 à 8 m de large, le déplacement est subhorizontal, la roche est déstructurée. La faille n'est pas évidente à détecter, non détectable en sismique 3D (réalisée à partir du plateau), car il n'y a pas de déplacement vertical. L'IRSN étudie les propriétés de la zone broyée et des zones adjacentes, et surtout teste des méthodes pour détecter cette faille.

En 2003, une galerie de section circulaire, de 5 m de diamètre, a été creusée. Une partie est bétonnée avec 4 types de béton pour étudier les interactions avec la roche. Une instrumentation a été installée avant le creusement (4 forages de 50 mètres de long) pour permettre l'étude des effets du creusement (mesures de pressions, de déplacement). Les mesures ont été réalisées avant, pendant et après le creusement. Les résultats montrent un couplage hydromécanique (les perturbations mécaniques entraînent des perturbations hydrauliques).

## 6. Ateliers et discussions :

a) La détection et la caractérisation des discontinuités naturelles.

- Caractérisation :

Les discontinuités sont importantes pour leur rôle potentiel dans la circulation souterraine. La détection des failles se fait par des méthodes géophysiques, des analyses structurales à partir de la surface ou à partir des ouvrages souterrains (forages, galeries). Mais la détection de failles à faible décalage vertical (failles décrochantes de décalage inférieur à 2-3 mètres) est difficile, la sismique 3D Haute Résolution (HR) n'est pas forcément suffisante.



## Échelles de discontinuités naturelles

	microfissures - petites failles	Failles secondaires	Failles locales	Failles Régionales		
<b>Longueur</b>	0	10	100	1 000	10 000	+ 100 000 m
<b>Déplacement</b>	0	1	10	100	+ 1 000 m	
<b>Cartographie</b>	affleurements			cartographie régionale		Surface
	Forages, galeries, tunnels					Profondeur
<b>Détection géophysique</b>	Sismique 3D HR ?			Sismique 2D et 3D		Surface
	Tomographie (sismique, radar, électrique)					Profondeur
<b>Possibilité de transfert de fluides</b>	Cavités géodiques	Brèche de faille	Zone de faille	Zone de faille		
	Échelle métrique	E. décamétrique	E. hectométrique à kilométrique			

- Mise en œuvre de méthodes géophysiques à Tournemire :

A Tournemire, il y a des failles d'échelle hectométrique à kilométrique et d'épaisseur de zone de faille variable de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres. Il s'agit de failles décrochantes de faible rejet vertical (2 m) qui peuvent être observées in situ. Les méthodes géophysiques permettent d'obtenir des informations sur le milieu ausculté. Certaines méthodes sont basées sur la propagation d'ondes sismiques et d'autres sur la circulation du courant électrique.

Avec une méthode de sismique réflexion 3D, la faille sera visualisée comme une discontinuité de réflecteurs sismiques avec ou sans décalage vertical. En 2001, une campagne a été menée depuis la surface (campagne de sismique réflexion HR 3D). Le résultat est présenté sous forme de cartes ou coupes sismiques, par exemple une carte en isochrone qui correspond à une carte des temps d'arrivée pour un horizon sismique donné. Cette étude a permis d'évaluer la technique de sismique 3D HR : les failles dans l'argilite ayant moins de 2 m de rejet ne sont pas détectées alors que ces mêmes failles (qui peuvent avoir un rejet supérieur (environ 20 m) dans les formations encaissantes) sont détectées dans les calcaires inférieurs. La tomographie sismique permet de compléter l'information sur le milieu obtenue avec la sismique réflexion. Elle permet de calculer la vitesse de propagation des ondes dans le milieu traversé. Les failles peuvent alors devenir visibles car elles entraînent des contrastes de vitesse (vitesses plus faibles dans les zones de failles). La méthode mise en œuvre à Tournemire est une méthode rapide et stable.

La mesure du courant électrique est utilisée dans les méthodes de résistivité électrique (déployée en 2D à Tournemire). La résistivité est sensible à la teneur en eau. Les failles peuvent être détectables car elles donnent un contraste de résistivité électrique (leur résistivité est plus faible). C'est aussi une méthode de tomographie, car on obtient une carte de distribution de la résistivité dans le milieu. Les calcaires sont très résistifs, les argilites sont très faiblement résistives. Les zones de résistivité plus faible observées dans les calcaires supérieurs sont interprétées comme étant des zones fracturées, karstifiées.

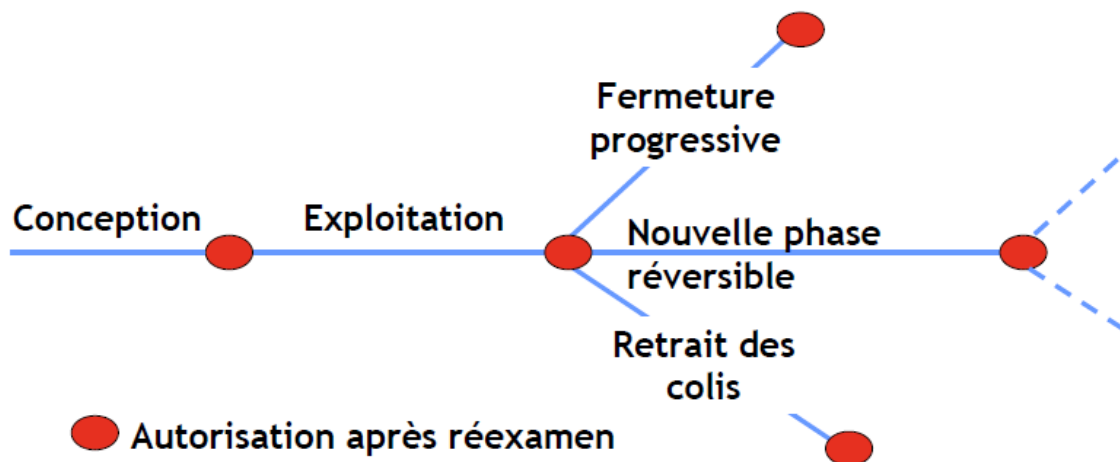
Des études sont aussi menées depuis les galeries avec des méthodes sismiques : sismique réflexion/migration ; tomographie des temps d'arrivée ; inversion des formes d'ondes élastiques. Cette dernière méthode est innovante et en cours de développement.

La conclusion générale est que la sismique 3D ne permet pas de détecter des failles à faible décalage vertical dans l'argilite (décalage inférieur à 2-3 mètres, failles décrochantes). Cependant la technique reste valable dans les calcaires avec décalage plus important.

En ce qui concerne Bure, en 1997, les techniques utilisées par l'Andra suggéraient la présence de discontinuités dans les calcaires à la base de la couche d'argilite. L'IRSN avait alors demandé des compléments d'analyses, et l'Andra a fait des études 3D. L'Andra a complété les études réalisées avec les méthodes sismiques par des forages obliques qui n'ont pas permis l'observation de failles. Il y a donc probablement très peu de discontinuités. S'il y en avait, cela ne serait probablement pas rédhibitoire, mais nécessiterait que l'Andra propose des solutions (les éviter, les sceller).

**b) Réversibilité et sûreté.**

La sûreté d'un entreposage, selon l'IRSN, n'est pas fondée sur des modélisations prospectives complexes d'évolution des colis, mais sur le contrôle et la maintenance de l'installation tout au long de son exploitation. S'agissant d'un stockage, la démarche de réversibilité nécessite de pouvoir, comme pour un entreposage, exercer une surveillance du comportement de l'installation y compris au plus près de la source (le colis) et d'avoir la possibilité d'intervenir selon la démarche de réversibilité adoptée. L'IRSN préconise une approche de la réversibilité basée sur la surveillance et le maintien de conditions permettant de faire des choix d'exploitation (maintien, fermeture progressive, retrait...) de l'installation sur la base d'examens périodiques de sûreté.



Un stockage n'est pas prévu pour être irréversible à long terme, quelle durée de réversibilité concevoir alors ?

Il faut prévoir des RDV de réexamen comme les vérifications décennales des centrales. Vérifier l'état, avoir la possibilité de choix et en faire un. Mais quels critères pour faire ces choix ? Qui décide ? Quand décide-t-on ? Ces questions sont à débattre dans un proche avenir.