

Bure, le 30 septembre 2012

Le directeur général adjoint

Tél. 03 29 75 53 66

Monsieur Jean-Louis CANOVA
Président du Comité Local d'Information et
de Suivi du Laboratoire de Recherche de
Bure - CLIS
Rue des Ormes - Le Lavoir
55290 Bure

Affaire suivie par : JP. Baillet / S. Bohaud

N/réf : DG/13-0292

Objet : Diffusion du rapport annuel d'avancement des travaux réalisés dans le laboratoire de recherche
souterrain en 2012

Monsieur le Président,

Conformément à l'article 7 du décret 2011-1910 du 20 décembre 2011 autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs à exploiter le laboratoire souterrain destiné à étudier les formations géologiques profondes où pourraient être stockés des déchets radioactifs, je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint le rapport annuel d'avancement des travaux réalisés au sein du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne exploité par notre Agence.

Je reste à votre disposition pour tout complément d'information.

Je vous prie de croire, Monsieur le Président, en l'expression de ma considération distinguée.



Jean-Paul BAILLET
Directeur général adjoint
Directeur du Centre de Meuse/Haute-Marne

PJ : Rapport annuel d'avancement des travaux réalisés dans le Laboratoire de recherche
souterrain en 2012 (D.RP.ACSE.13.0206.A)

Copies :

- Monsieur Jean-Louis CANOVA
Président du Comité Local d'Information et de Suivi du Laboratoire de Recherche de Bure - CLIS
Mairie d'Ancerville - Place Municipale - 55170 ANCERVILLE
- Monsieur Benoit JAQUET
Secrétaire général du Comité Local d'Information et de Suivi du Laboratoire de Recherche de Bure
CLIS - 18 avenue Gambetta - 55000 BAR LE DUC

Copies Andra :

DMR/DIR	F. BOISSIER
	S. VOINIS
DP/DIR	T. LABALETTE
DRD/DIR	P. LEBON
CMHM/DIR	JP. BAILLET
SG/DIR	G. SAQUET
SG/JA	D. HONORE
CMHM/CO	M. HURAUT
DCOM/DIR	V. RENAULD
	S. FARIN

RAPPORT ANNUEL D'AVANCEMENT DES TRAVAUX RÉALISÉS DANS LE LABORATOIRE DE RECHERCHE SOUTERRAIN EN 2012

Page : 1/33

Ce document, bien que propriété de l'Andra, peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation

Août 2013



→ Titre original du document

Rapport annuel d'avancement des travaux réalisés dans le Laboratoire de recherche souterrain en 2012.

SOMMAIRE

1. Contexte	6
2. Mise au point des méthodes de construction et optimisation des ouvrages du stockage	6
2.1 Ouvrages de type « galeries »	6
2.1.1 La GRD2	7
2.1.2 La GRD3	8
2.1.3 La GES	8
2.1.4 Réalisation d'utilités	9
2.2 Ouvrages de type « alvéoles de stockage de déchets HA »	10
2.2.1 L'alvéole HAT1602	10
2.2.2 L'alvéole ALC1604	12
2.2.3 L'alvéole ALC3002	12
2.3 Mise au point des méthodes de scellement des ouvrages et de remblaiement des galeries	13
3. Confirmation de la faible extension des perturbations dues au stockage, évaluation du comportement des argilites perturbées et du comportement des matériaux aux interfaces	16
3.1 Perturbations dues au comportement hydro-mécanique des argilites	16
3.1.1 Données nécessaires à l'analyse du comportement <i>in situ</i>	16
3.1.2 Comportement hydromécanique des ouvrages au creusement	16
3.1.3 Caractérisation de l'EDZ initiale	19
3.1.4 Caractérisation du comportement hydro-mécanique différé autour d'un ouvrage en phase d'exploitation	20
3.1.5 Caractérisation du comportement thermo-hydro-mécanique autour des alvéoles HA	21
3.1.6 Évolution de l'EDZ	22
3.2 Migration des gaz produits dans le stockage et perturbations induites	23
3.3 Perturbations chimiques et microbiologiques	23
3.3.1 Effet de la température	23
3.3.2 Effet de l'oxydation	24
3.3.3 Suivi du développement bactérien	24
3.4 Comportement des matériaux du stockage et de leurs interfaces avec l'argilite	25
3.4.1 Interface argilite / liants hydrauliques (expérimentation MLH)	25
3.4.2 Interface argilite / matériaux d'une alvéole HA	25
4. Les méthodes d'observation et de surveillance	26
4.1 Qualification des méthodes de monitoring des revêtements et soutènements	26
4.2 Mesure de la sismicité naturelle en souterrain	28
5. La formation en lien avec le stockage	29
5.1 SOMET	29
5.2 Sécurité	29

6. Conclusions et perspectives

31

FIGURES

Figure 1	Galeries creusées en 2012	7
Figure 2	Techniques de creusement (BRH à gauche, MAP à droite)	7
Figure 3	Différentes épaisseurs de béton projeté dans la galerie GRD2	8
Figure 4	Creusement de la galerie GRD3 : à gauche demie supérieure et à droite demie inférieure	8
Figure 5	Creusement (à gauche) et mise en place d'une membrane étanche (à droite) dans la galerie GES	9
Figure 6	Prolongement de la galerie GAN (GAN4)	9
Figure 7	Galerie technique G10 (nouvelle sous-station électrique et niche informatique)	10
Figure 8	Machine utilisée pour le creusement des alvéoles HA	11
Figure 9	Tête de coupe pour le creusement des alvéoles, rétractable pour extraction par l'intérieur des chemises	11
Figure 10	Chemises métalliques (à gauche) insérées au fur et à mesure du creusement dans l'alvéole (à droite)	12
Figure 11	A : Alvéole HAT1604 à la fin du creusement – B : Plaque de fond	12
Figure 12	Dispositif de convergence en place dans l'alvéole ALC3002	13
Figure 13	Coffrage du mur béton en fond de la galerie GCS	13
Figure 14	Compactage du mélange pellets et poudre de bentonite du soubassement	14
Figure 15	Mise en place des goulottes (à gauche) et de la membrane d'hydratation (à droite)	14
Figure 16	Pose de la seconde membrane d'hydratation	15
Figure 17	Mur de bentonite de l'essai NSC achevé	15
Figure 18	Détail du mur terminé	15
Figure 19	Chambre de mesures de pression interstitielle	17
Figure 20	Zoom sur l'extensomètre	17
Figure 21	Cellule de pression installée pour être enrobée dans le béton projeté de la galerie GRD2	17
Figure 22	A : Sondeuse en place sur le forage GGD4003 – B : Zoom sur l'extensomètre	18
Figure 23	Mise en place de l'extensomètre multi-points dans le forage GGD4003	18
Figure 24	Extensomètre en place dans le forage GGD4004	18
Figure 25	Complétion multi-packers installée dans le forage GGD4021 (zoom sur un packer et un intervalle de mesures)	19
Figure 26	Tubage instrumenté installé dans CAC1003	20
Figure 27	Saignée réalisée en galerie GCR pour les mesures au vérin plat	21
Figure 28	Cellule de pression totale (à gauche) et capteur de reprise de jeu du chemisage de la roche à environ 22 m de profondeur (à droite)	22
Figure 29	Alvéole ALC1604, vue d'un élément chauffant dans le chemisage	22
Figure 30	A : Mise en place l'équipement dans le forage – B : Conditionnement d'une carotte pour prélèvement d'échantillons	24
Figure 31	Extraction de la canne porte-échantillon du forage MVE1201	25
Figure 32	Système d'étalonnage de la mesure de température par fibre optique (OFS), fondé sur la technique des points fixes, installé dans ORS	26
Figure 33	Schéma de principe des instrumentations de la section d'auscultation en galerie GCR	27

Figure 34	Comparaison des mesures obtenues dans ORS entre les fibres optiques (OFS) et les extensomètres à corde vibrante (ECV) classiquement utilisés depuis des décennies. L'encart, en bas à gauche, permet de visualiser que les fibres optiques permettent des mesures en tout point, ce que permettent difficilement les capteurs individuels	28
Figure 35	Centre de secours du Laboratoire	30
Figure 36	VARI	30
Figure 37	VSAV	30
Figure 38	Manœuvre de secourisme	31

ANNEXE

Annexe 1	Liste alphabétique des expérimentations en cours ou terminées au Laboratoire	33
----------	--	----

1. Contexte

Dans le cadre du projet de centre de stockage réversible profond pour les déchets de haute et moyenne activité à vie longue, l'Andra exploite à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, le Centre de Meuse/Haute-Marne composé notamment d'un Laboratoire de recherche souterrain d'une surface de 17 hectares où sont conduites des recherches dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien, qui pourrait accueillir les installations souterraines du stockage Cigéo.

Ce document constitue le rapport annuel d'avancement 2012 des travaux réalisés sur le Laboratoire de recherche souterrain, conformément à la demande de l'article 7 du décret d'autorisation d'exploitation du Laboratoire Souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Le programme d'études et de recherche du Laboratoire Souterrain s'inscrit dans une phase de développement, d'optimisation et d'études détaillées en support à la préparation du dossier de demande d'autorisation de création du stockage, et dans l'objectif de préparer la phase industrielle du projet.

Ainsi, aujourd'hui, le Laboratoire permet :

- La mise au point des méthodes :
 - ✓ de construction et l'optimisation des ouvrages de stockage,
 - ✓ de scellement des ouvrages et de remblaiement des galeries.
- La réalisation d'expérimentations permettant :
 - ✓ de confirmer la faible extension des perturbations dues au stockage, l'évaluation du comportement des argilites perturbées et matériaux en interface,
 - ✓ de confirmer les performances de confinement de la formation du Callovo-oxfordien, la caractérisation des argilites en place,
 - ✓ d'évaluer les conditions de transfert en observant le contexte hydrogéologique dans la durée.
- De développer des méthodes d'observation et de surveillance pour la gestion réversible du stockage.
- De former aux méthodes de stockage.

Les chapitres suivants reprennent les thématiques ci-dessus, qui sont celles du chapitre 5 du Mémoire du DAIE, et, décrivent les actions conduites en 2012 au Laboratoire Souterrain sur ces différents points.

2. Mise au point des méthodes de construction et optimisation des ouvrages du stockage

2.1 Ouvrages de type « galeries »

104,85 mètres linéaires de galeries ont été creusés dans le Laboratoire Souterrain (Figure 1) en 2012, au moyen de deux machines de creusement (Figure 2) :

- Un brise roche hydraulique (BRH),
- Une machine à attaque ponctuelle (MAP).

Les creusements ont été réalisés par la société EIFFAGE TP.

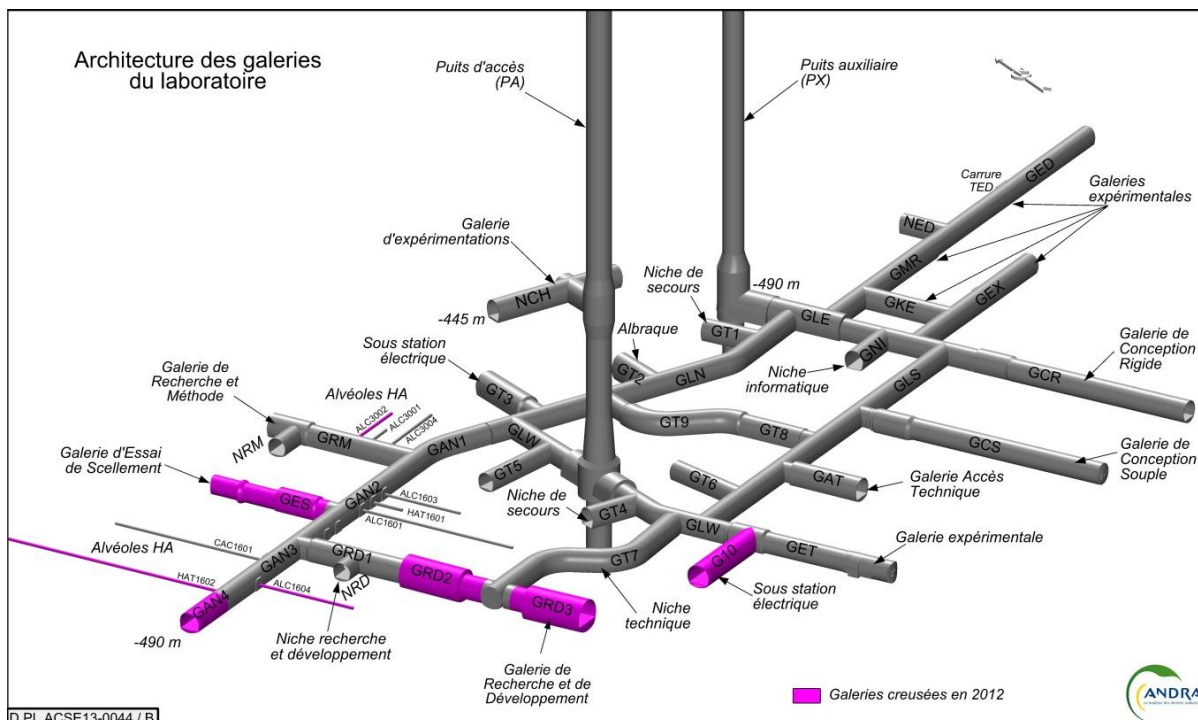


Figure 1 Galeries creusées en 2012



Figure 2 Techniques de creusement (BRH à gauche, MAP à droite)

Les galeries creusées en 2012 :

2.1.1 La GRD2

La GRD2 s'inscrit dans le prolongement de la GRD (Galerie de Recherche et Développement) sur 25,7 m au BRH. Ce tronçon comprend deux zones : une partie en section cintrée de 5,70 m de diamètre et une partie en section circulaire de 6,30 m de diamètre excavé revêtue de Béton Projeté Epais (BPE) sur 45 cm d'épaisseur (Figure 3).



Figure 3 Différentes épaisseurs de béton projeté dans la galerie GRD2

2.1.2 La GRD3

La GRD3 s'inscrit dans le prolongement de la GRD2 sur 15,60 m. Elle a été creusée au BRH en section cintrée de 7,80 m de diamètre. Compte tenu de la taille de cette galerie, l'excavation s'est effectuée en deux fois : en premier la demi-section supérieure puis, en second, la demi-section inférieure (Figure 4). Cette galerie est la plus grande creusée au Laboratoire. Elle a deux fonctions :

- Servir de chambre de montage pour le futur Tunnelier à Attaque Ponctuelle (TAP) qui sera mis en œuvre en 2013,
- Etudier le comportement d'un ouvrage de plus grand diamètre que les autres galeries du Laboratoire Souterrain (expérimentation « Galerie Grand Diamètre ou GGD », voir § 3.1.2).



Figure 4 Creusement de la galerie GRD3 : à gauche demie supérieure et à droite demie inférieure

2.1.3 La GES

La Galerie d'Essai de Scellement destinée à tester *in situ*, à l'échelle d'une galerie, un Noyau de Scellement (expérimentation NSC, voir § 2.3) comprend différents tronçons. Tout d'abord, sur 10 m une section cintrée de 5,70 m de diamètre a été réalisée pour permettre l'emploi de la MAP pour le creusement du tronçon suivant (Figure 5). Celui-ci, de 19,25 m de long, comporte différents soutènements :

- Un soutènement de type souple avec du béton projeté et des cales compressibles,
- Une zone de 5 m avec un soutènement comprenant uniquement des boulons et du grillage là où le futur bouchon de scellement sera mis en place.

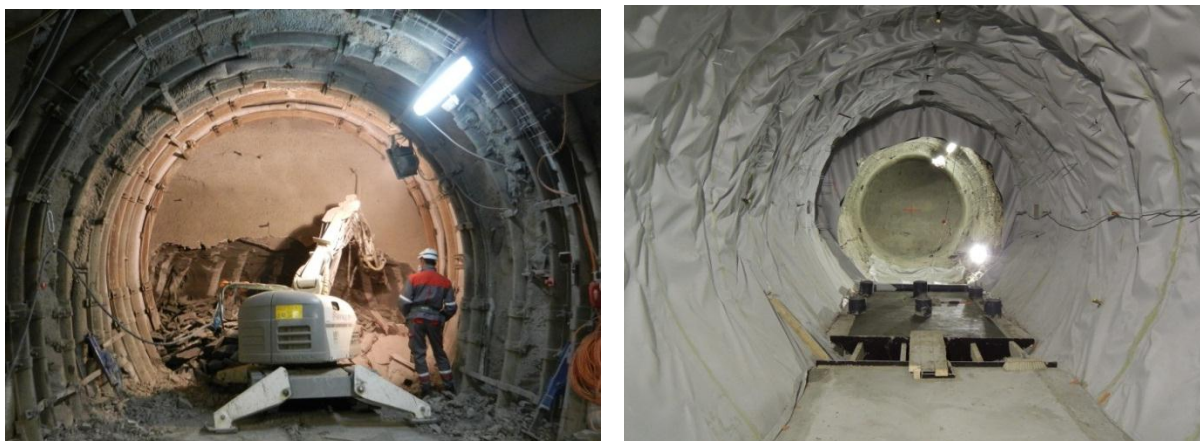


Figure 5 *Creusement (à gauche) et mise en place d'une membrane étanche (à droite) dans la galerie GES*

2.1.4 Réalisation d'utilités

La GAN4 s'inscrit dans le prolongement de la GAN (Galerie d'Accès Nord) sur 13 m au BRH en section cintrée de 5,20 m de diamètre (Figure 6). Il a été réalisé sur ce tronçon des « carrures HA » qui sont des zones destinées à la réalisation future de forages horizontaux d'environ 700 mm de diamètre pour des essais de creusement d'alvéoles HA (voir § 2.2).



Figure 6 *Prolongement de la galerie GAN (GAN4)*

La G10 est une galerie technique destinée à recevoir des équipements électriques (postes de transformation, ...) et informatiques (Figure 7). En effet, les galeries existantes assurant ces fonctions là jusqu'à présent : la sous-station électrique GT3 et la niche informatique GNI, du fait de l'extension du Laboratoire Souterrain, arrivent à leurs capacités limites. Cette nouvelle galerie G10 de 21,30 m creusée au BRH en section cintrée de 5,70 m de diamètre, permettra de renforcer les moyens électriques et informatiques des installations souterraines.



Figure 7 *Galerie technique G10 (nouvelle sous-station électrique et niche informatique)*

2.2 Ouvrages de type « alvéoles de stockage de déchets HA »

Les essais de creusement d'alvéoles de stockage pour les déchets dits HAVL (Haute Activité à Vie Longue) ont été poursuivis en 2012.

Ce sont des ouvrages réalisés à l'échelle 1 au Laboratoire Souterrain. Il s'agit de forages horizontaux (des micro-tunnels) de l'ordre de 700 mm de diamètre. Ces forages sont ou non équipés de tubages métalliques selon les objectifs attendus de l'essai.

3 alvéoles HA ont été réalisées en 2012 par la société CSM BESSAC (§ 2.2.1, § 2.2.2 et § 2.2.3).

2.2.1 L'alvéole HAT1602

L'objectif du creusement de l'alvéole HAT1602, situé en GAN, était de réaliser une alvéole équipée de chemises métalliques d'une longueur supérieure à 40 m selon la contrainte horizontale majeure (σ_H) afin d'optimiser le concept du dossier 2009. Pour atteindre cet objectif technologique, le retour d'expérience des alvéoles creusées depuis 2009 a été pleinement exploité. Il a permis la mise au point de nouveaux matériels de forages (nouveau bâti de poussée : Figure 8 et adaptation de la foreuse : Figure 9) intégrant des modifications techniques significatives.

Une alvéole de 102 m chemisée a été réalisée, ce qui représente une optimisation du concept très importante (Figure 10).



Figure 8 *Machine utilisée pour le creusement des alvéoles HA*



Figure 9 *Tête de coupe pour le creusement des alvéoles, rétractable pour extraction par l'intérieur des chemises*



Figure 10 Chemises métalliques (à gauche) insérées au fur et à mesure du creusement dans l'alvéole (à droite)

2.2.2 L'alvéole ALC1604

L'objectif de cette alvéole ALC1604 (Figure 11) est de réaliser à l'échelle 1 une alvéole HA comme définie dans le concept de stockage, orientée suivant la contrainte majeure, puis de simuler le dégagement thermique généré par des colis de déchets HA0, en configuration d'exploitation. Ce test fait partie du projet européen LUCOEX.

Les caractéristiques de l'alvéole chauffante, de longueur totale 25 m, sont les suivantes :

- La tête d'alvéole, de longueur 6 m, excavée en diamètre 791 mm, avec mise en place d'un insert de diamètre extérieur 767 mm (soit un espace annulaire de 12 mm au rayon) et d'épaisseur 21 mm,
- La partie « utile », de longueur 19 m, excavée en diamètre 750 mm, avec mise en place d'un chemisage de diamètre extérieur 700 mm (soit un espace annulaire de 25 mm au rayon) et d'épaisseur 20 mm,
- Une plaque de fond, une plaque en tête de chemisage et une plaque en tête d'insert.

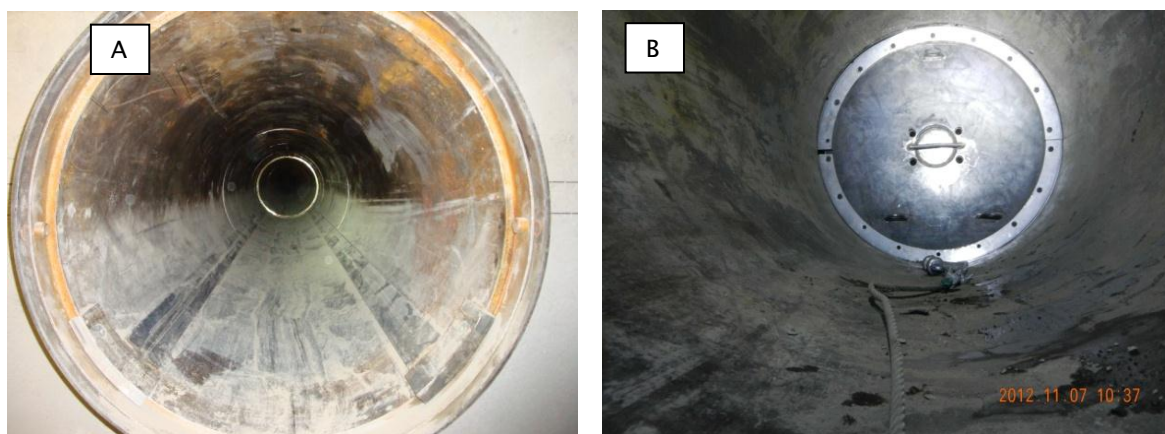


Figure 11 A : Alvéole HAT1604 à la fin du creusement – B : Plaque de fond

2.2.3 L'alvéole ALC3002

L'objectif de l'alvéole ALC3002 (Figure 12) réalisée en GRM (Figure 1), est d'étudier le comportement mécanique (convergence) d'une alvéole suivant σ_h et d'apporter des informations sur la configuration de l'EDZ autour d'une alvéole dans cette direction par l'observation et la mesure des break-outs.

Pour ce faire, les travaux suivants ont été réalisés en 2012 :

- Creusement de l'alvéole trou nu de 20 m,
- Un profil de calcimétrie dans la carrure de la future alvéole,
- Un levé géologique des premiers mètres,
- Un scanner 3D de l'alvéole.

Des sections de convergence ont été mises en place en novembre (Figure 12).



Figure 12 Dispositif de convergence en place dans l'alvéole ALC3002

2.3 Mise au point des méthodes de scellement des ouvrages et de remblaiement des galeries

L'expérimentation « Noyau de Scellement ou NSC » se situe en galeries GES (Figure 1). Elle a pour objectif de tester un noyau de scellement sans saignée, avec dépose complète du revêtement. Elle doit permettre d'évaluer la performance hydraulique équivalente d'un noyau de scellement et du champ proche au droit du noyau. Il s'agit d'évaluer les voies de transfert de l'eau au sein du système et sa perméabilité équivalente.

Les travaux effectués en 2012 ont consisté en un pré-test en galerie GCS (Figure 1) avec un essai de montage d'un mur de bentonite :

- Réalisation du mur béton :

Le coffrage a été mis en place fin juin 2012 (Figure 13) et le coulage du béton, approvisionné par toupies, a été réalisé début juillet. Au total, 28 m³ de béton ont été nécessaires.



Figure 13 Coffrage du mur béton en fond de la galerie GCS

Deux capteurs de température ont été installés avant le coulage du béton avec un capteur positionné au contact béton/roche et un deuxième au centre du plot béton.

- Réalisation du soubassement du mur :

Le soubassement (Figure 14) a été réalisé en 2 couches de 10 cm de bentonite compactées constituées, pour chacune d'entre elles, d'un mélange de pellets de 7 mm de diamètre et de 7 % poudre de bentonite de 10 cm. La masse totale de bentonite utilisée pour la construction de cette sole est de 2500 kg.

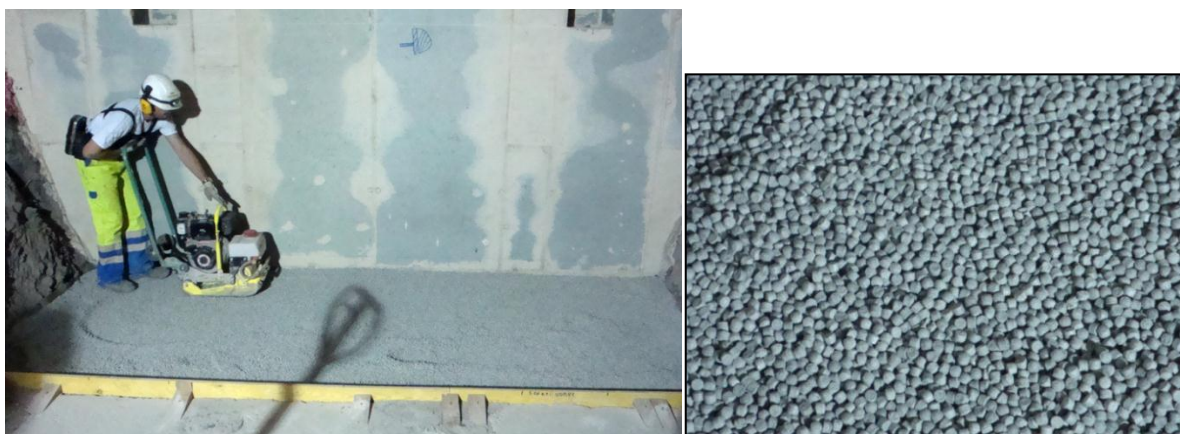


Figure 14 *Compaction du mélange pellets et poudre de bentonite du soubassement*

- Mise en place de la membrane géotextile :

Avant la pose de la membrane géotextile (Figure 15) sur le mur de béton, des profilés U ont été mis en place pour le passage des câbles dans les réservations prévues à cet effet dans le mur béton. La mise en place de la partie supérieure de la membrane géotextile s'est achevée mi-juillet.

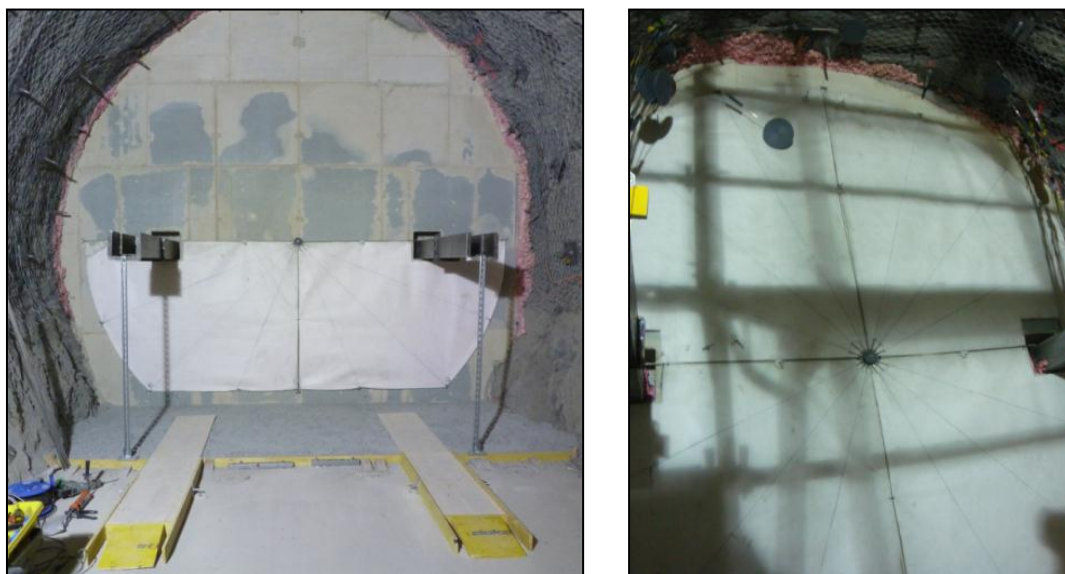


Figure 15 *Mise en place des goulottes (à gauche) et de la membrane d'hydratation (à droite)*

- Mise en place des briques :

La mise en place des 3 rangées de briques s'est déroulée du 13 au 24/07/2012 (Figure 17). La pose de la seconde membrane d'hydratation (Figure 16) a été réalisée le 24/07/2012.



Figure 16



Pose de la seconde membrane d'hydratation



Figure 17

Mur de bentonite de l'essai NSC achevé

Sur la Figure 18, on peut observer que l'alignement des briques et la planéité du mur sont bons et que les vides technologiques sont très faibles.



Figure 18

Détail du mur terminé

3. Confirmation de la faible extension des perturbations dues au stockage, évaluation du comportement des argilites perturbées et du comportement des matériaux aux interfaces

3.1 Perturbations dues au comportement hydro-mécanique des argilites

3.1.1 Données nécessaires à l'analyse du comportement *in situ*

Conditions naturelles régnant dans la formation :

Dans le cadre de l'expérimentation OHZ « Observation et suivi Hydromécanique de l'EDZ ou OHZ » dédiée à l'observation de l'EDZ résultant de la construction des ouvrages, le réseau de suivi piézométrique continue à se développer principalement pour mesurer l'impact hydraulique des galeries. Des forages de pression et température ont été mis en place dans la galerie GCR (6) et dans la galerie GRD3 (2) pour l'expérimentation GGD, 4 forages ont été mis en place autour de la galerie GRD2 pour l'expérimentation BPE. L'ensemble des forages permet de mieux connaître le gradient hydraulique autour des galeries du Laboratoire.

Caractéristiques de l'air circulant dans les galeries :

Le réseau de suivi climatique déjà installé dans les galeries du Laboratoire Souterrain pour mesurer la température, l'hygrométrie et la vitesse de circulation de l'air continue à être suivi. Il a été complété par de nouvelles stations mises en place dans les galeries GCR (2 stations) et GRD2 (2 stations). Des capteurs d'hygrométrie/température supplémentaires ont été implantés dans les galeries GAN et GRM (au voisinage des alvéoles HA).

3.1.2 Comportement hydromécanique des ouvrages au creusement

Au cours de l'année 2012, les galeries GRD2 (expérimentation BPE « Béton projeté épais ») et GRD3 (expérimentation GGD) ont fait l'objet d'une caractérisation hydromécanique spécifique au creusement. Pour ces galeries, des mines-by-tests d'ampleur différente ont été mis en œuvre. Ils consistent en la mise en place dans des forages d'un ensemble de mesures (déplacement, pression interstitielle) avant le creusement de la galerie pour suivre la réponse hydromécanique du terrain au cours du creusement. Pendant le creusement, des appareils de mesures de convergence et extensométriques sont installés. Une fois la galerie réalisée, des investigations complémentaires sont effectuées pour la caractérisation de l'EDZ (forage de pression interstitielle permettant de réaliser des tests hydrauliques, injections de résine, ...).

Expérimentation BPE « Béton Projeté Epais » :

L'objectif de cette expérimentation est de mettre en place un revêtement suffisamment rigide le plus rapidement possible, pour limiter au maximum le déchargement du terrain. Pour ce faire, 4 couches de béton ont été projetées les unes sur les autres de façon à obtenir une épaisseur de 45 cm (Figure 3). Cet essai permettra de disposer, au plus tôt, d'éléments permettant de statuer sur la faisabilité du tunnelier au niveau du stockage. Le questionnement porte sur l'interaction entre le terrain et le revêtement par voussoirs qui accompagne le creusement au tunnelier et non sur la capacité de la roche à être coupée mécaniquement (celle-ci étant déjà largement acquise).

L'expérimentation d'un soutènement rigide épais (BPE) permet d'évaluer la pertinence des modèles de dimensionnement à estimer les efforts sur un soutènement rigide posé très tôt, e.g. les voussoirs.

L'instrumentation mise pour le suivi hydro-mécanique en place en 2012 comprend :

- 4 forages pour des mesures de pression interstitielle (Figure 19),
- Un forage long pour des mesures extensométriques (Figure 20),
- Une section de mesures géomécaniques renforcée intégrant 4 forages pour des mesures de convergence ainsi que 2 sections de mesures de convergence,



Figure 19 *Chambre de mesures de pression interstitielle*



Figure 20 *Zoom sur l'extensomètre*

- 84 capteurs correspondant à des cellules de pression et des cordes vibrantes (Figure 21),



Figure 21 *Cellule de pression installée pour être enrobée dans le béton projeté de la galerie GRD2*

- Des capteurs climatiques pour connaître les conditions de température et d'humidité relative qui règnent dans la galerie,
- En accompagnement de l'instrumentation, les travaux suivants ont été réalisés,
- Des tests de perméabilité dans les forages de mesures de pression,
- 13 scans de la zone BPE pour vérifier les épaisseurs de béton projeté, localiser précisément les capteurs et visualiser l'évolution de sa géométrie au cours du temps.

Des levés géologiques des fronts de taille au PM13.82 et au PM16.46.

Expérimentation GGD Galerie Grand Diamètre :

L'expérimentation GGD (Galerie Grand Diamètre) se situe en galerie GRD3 (Figure 1 et Figure 4). L'objectif général de cette expérimentation s'inscrit dans le cadre de la problématique dans la continuité du programme d'expérimentation sur les comportements roche/structure dans différents cas de soutènement et pour des ouvrages de diamètres différents (7,8 m dans le cas de la GRD3, soit la plus grande taille d'ouvrage construit dans le Laboratoire Souterrain). Les objectifs spécifiques de cette expérimentation sont de :

- Caractériser la zone fracturée autour d'un ouvrage de grande taille,
- Caractériser son comportement mécanique,
- Etudier l'effet d'échelle sur le comportement mécanique et la fracturation (densité, extension, ...) en comparant les résultats de l'expérimentation GGD avec ceux obtenus dans l'expérimentation OHZ pour les galeries de 4 à 5 m de diamètre et dans le cadre des essais menés sur les alvéoles HA de 0,7 m de diamètre.

Les travaux réalisés en 2012 comprennent :

- La mise en place d'extensomètres 1 point dans des forages courts et d'extensomètres multi-points dans des forages plus longs sur différentes sections de mesures renforcée (Figure 22, Figure 23 et Figure 24),
- Des tests « hydro » dans les forages de mesures de pression interstitielle,
- Des scanners des fronts de taille,
- Des levés géologiques,
- 2 forages de mesure de pression/température (Figure 25),
- Des mesures régulières de convergence sur les sections instrumentées.

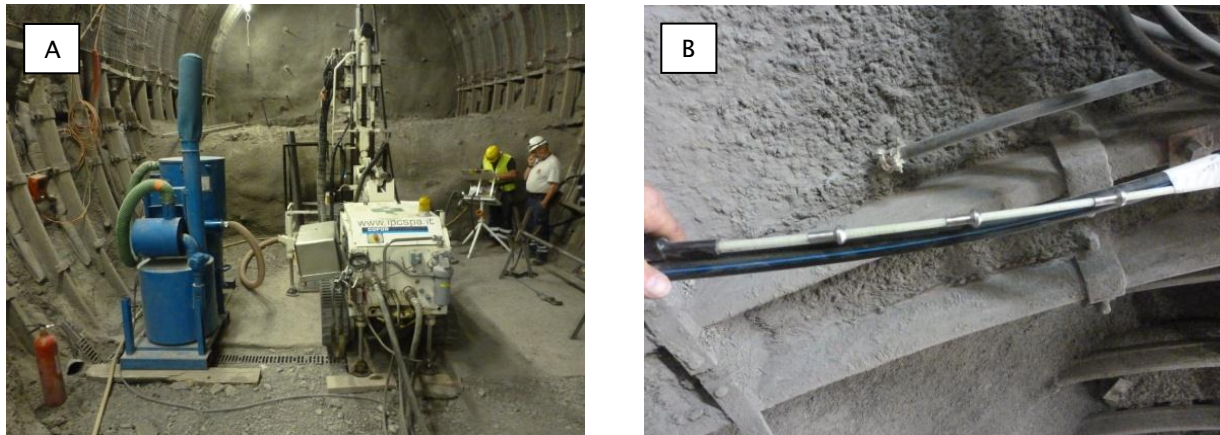


Figure 22 A : Sondeuse en place sur le forage GGD4003 – B : Zoom sur l'extensomètre



Figure 23 Mise en place de l'extensomètre multi-points dans le forage GGD4003

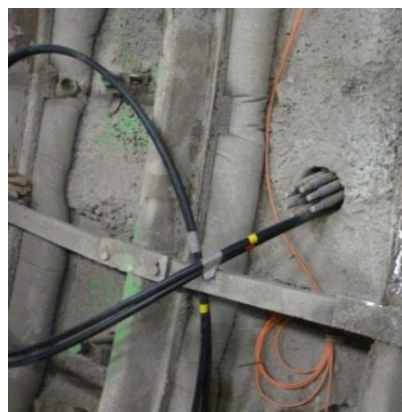


Figure 24 Extensomètre en place dans le forage GGD4004



Figure 25 Complétion multi-packers installée dans le forage GGD4021 (zoom sur un packer et un intervalle de mesures)

Alvéoles HA :

En 2012, trois nouvelles alvéoles ont été creusées (§ 2.2), dont deux (ALC3002 et ALC1604) ont fait l'objet d'un suivi hydromécanique du creusement et sur le long terme.

Préalablement au creusement de l'alvéole ALC3002, orientée suivant la contrainte mineure, des mesures de pression interstitielle ont été mises en place dès 2010 pour suivre l'impact hydromécanique du creusement. Après son creusement, 4 sections de mesures de convergence ont été installées pour suivre les déformations différées.

L'instrumentation installée préalablement au creusement de l'alvéole ALC1604 est décrite au § 3.1.5.

3.1.3 Caractérisation de l'EDZ initiale

La caractérisation de l'EDZ a été réalisée autour de la galerie GCR à partir :

- De l'analyse structurale des carottages issus de tous les forages réalisés,
- Des mesures de perméabilité réalisées dans les chambres de mesures de pression interstitielle autour de la galerie GCR (6 nouveaux forages avec 5 chambres de mesures ont été installés dans la galerie GCR),
- De 5 forages tomographiques (mesure des vitesses des ondes P et S entre des doublets ou triplets de forages).

Dans la galerie GRD3, les travaux réalisés en 2012 comprennent la mise en place de complétions multi-obturateurs pour réaliser des mesures de perméabilité, le levé structural des fronts de taille et des carottes de forages dans le cadre de l'expérimentation GGD (Galerie Grand Diamètre). Les résultats permettront d'étudier l'effet d'échelle sur le comportement mécanique et la fracturation (densité, extension, ...) par comparaison avec ceux obtenus dans l'expérimentation OHZ pour les galeries de 4 à 5 m de diamètre et dans le cadre des essais menés sur les alvéoles HA de 0,7 m de diamètre.

Dans la galerie GRD2, l'expérimentation BPE a aussi fait l'objet d'une caractérisation intensive de l'EDZ. Le levé structural a été réalisé au cours du creusement et de la réalisation des forages à partir de la paroi de la galerie. 4 forages ont été équipés pour des mesures de pression interstitielle et ont permis de réaliser des mesures de perméabilité.

3.1.4 Caractérisation du comportement hydro-mécanique différé autour d'un ouvrage en phase d'exploitation

Alvéoles HA :

L'étude du comportement hydromécanique des alvéoles HA est réalisée à partir d'essai à échelle réduite et sur alvéole HA à l'échelle 1 (démonstrateur d'alvéole). L'avantage des essais à échelle réduite est qu'ils permettent de réduire l'espace annulaire initial entre le tubage et la roche et ainsi d'observer plus rapidement l'évolution des contraintes/déformations dans le chemisage/tubage. Les essais à échelle réduite sont regroupés dans l'expérimentation CAC « Tubages en acier instrumentés » qui a pour but de déterminer les modalités de ce que pourrait être le chargement mécanique d'un chemisage, en l'absence de chauffe, à partir d'un essai en forage sur un tube en acier.

Cet essai à échelle réduite vise à :

- Obtenir la mise en contact de l'argilite et du tubage en un temps significativement plus court,
- Obtenir des sollicitations mécaniques du tubage plus élevées.

Les travaux réalisés en 2012 comprennent l'installation de 3 tubages instrumentés d'épaisseurs et de diamètres différents en forages (Figure 26) pour étudier les différences de comportement mécanique. Les évolutions des déformations et contraintes dans le chemisage orienté suivant la contrainte horizontale majeure, confirment les observations déjà réalisées dans TEC avec une convergence horizontale plus rapide que la verticale qui conduit à une ovalisation élastique du tubage avant contact de la génératrice supérieure. Après, on observe une stabilisation des convergences et une évolution lente des contraintes orthoradiales.



Figure 26 Tubage instrumenté installé dans CAC1003

Le suivi du creusement des alvéoles ALC1602 et ALC1604 permet de compléter les données sur le suivi long terme (convergence et évolution des pressions interstitielles) des alvéoles avec ou sans chemisage dans différentes orientations. L'analyse de ces données permet de comprendre les déformations de la roche autour de l'alvéole et le chargement appliqué par le terrain sur le chemisage.

Ouvrages de type galeries :

La mise en œuvre de différents types de soutènement/revêtement permet de suivre l'évolution hydromécanique des galeries du LSMHM à long terme dans différentes configurations. En 2012, on notera :

- La finalisation du revêtement rigide dans la galerie GCR. Il s'agit d'un béton coulé de 40 cm d'épaisseur, de type B40 et B60, réalisé 7 mois après l'excavation de la galerie. Dans le cadre de l'expérimentation ORS « Observation et suivi du Revêtement et Soutènement », le comportement de ce revêtement rigide est étudié. La majeure partie de l'instrumentation géomécanique a été mise en place en 2011. En 2012, l'acquisition des données se poursuit pour un suivi long terme, des scanners ont été réalisés pour suivre l'évolution de la géométrie de la galerie et des mesures au vérin plat (Figure 27) permettent d'observer la contrainte générée par le chargement dans le revêtement.

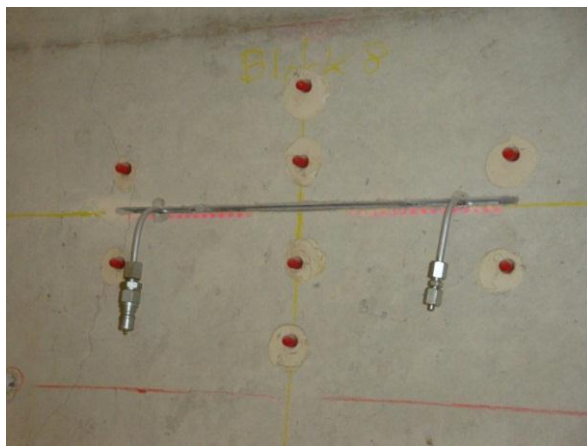


Figure 27 Saignée réalisée en galerie GCR pour les mesures au vérin plat

- La galerie GRD2 avec un béton projeté épais et la galerie de grand diamètre GRD3 (GGD).

Pour l'étude spécifique de la désaturation, l'expérimentation SDZ « Effet de la saturation/désaturation sur l'EDZ » correspond à la caractérisation de l'effet de la saturation/désaturation, généré par la ventilation sur l'EDZ. Les objectifs généraux correspondent :

- A l'évaluation des comportements hydrauliques (désaturation) et hydromécaniques des argilites autour d'un ouvrage ventilé,
- Plus particulièrement, à l'évaluation de l'impact de la désaturation sur l'EDZ (développement de la fissuration, caractéristiques hydrauliques et hydromécaniques),
- Au suivi de la resaturation après une phase de ventilation prolongée, et de ses effets sur le comportement des argilites autour d'un ouvrage (effet de gonflement sur le soutènement).

Cette expérimentation se déroule en galerie GED (Figure 1). Les conditions imposées en 2012 sont une température de 23 °C (+/-2 °C) et une humidité relative de 30 % (+/-10 %). Les travaux réalisés concernent 2 forages pour des mesures de teneur en eau sur échantillons pour étudier l'évolution des conditions hydriques au cours du temps.

3.1.5 Caractérisation du comportement thermo-hydro-mécanique autour des alvéoles HA

En phase d'exploitation :

L'expérimentation dans l'alvéole ALC1604 (§ 2.2.2) a pour objectif de simuler le dégagement thermique généré par des colis de déchets pour vérifier le comportement mécanique des chemises métalliques (projet européen LUCOEX) et étudier le comportement thermo-hydro-mécanique de la roche environnante. Ainsi, préalablement au creusement de l'alvéole, ont été réalisés :

- 9 forages périphériques à l'alvéole, équipés pour le suivi de la pression interstitielle, de la température et de la déformation dans le massif (extensomètre en NRD - Figure 1),
- L'instrumentation de la carrure.

Suite à son creusement, ont été installés :

- Des jauges de déformations, des capteurs de pression totale à l'interface roche/chemisage, des capteurs de reprise de chemisage roche/chemisage, des capteurs d'humidité relative/température dans l'espace annulaire roche/chemisage et dans l'insert, un extensomètre axial, des capteurs de convergence du chemisage et de l'insert, et des profils axiaux de température pour étudier son comportement thermo-mécanique sous l'effet du chargement du massif et de la sollicitation thermique (Figure 27),

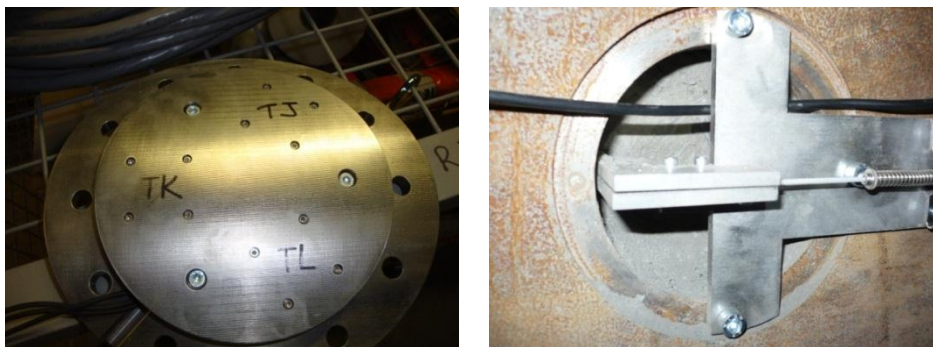


Figure 28 Cellule de pression totale (à gauche) et capteur de reprise de jeu du chemisage de la roche à environ 22 m de profondeur (à droite)

- L'instrumentation de la zone de recouvrement de 1 m insert/chemisage avec des capteurs de coulisement de chemisage dans l'insert, pour étudier le fonctionnement de la tête d'alvéole (coulissement libre du chemisage dans l'insert sous l'effet de la dilatation thermique),
- 5 éléments chauffants de 3 m de longueur et de diamètre équivalent à celui des colis (Figure 29), introduits dans l'alvéole entre 10 et 25 m de profondeur. Ces éléments chauffants sont équipés, outre les capteurs de température destinés à la régulation de la chauffe, de capteurs de convergence du chemisage et d'inclinomètres biaxiaux,



Figure 29 Alvéole ALC1604, vue d'un élément chauffant dans le chemisage

- Une instrumentation dans la galerie d'accès à l'alvéole (mesures de déformation en paroi et sur les éléments de soutènement).

En phase de post-fermeture :

L'expérimentation TED étudie l'impact de l'échauffement de la roche au moyen de trois sondes chauffantes installées parallèlement les unes aux autres. La phase de chauffe a débuté en 2010. Depuis le mois de juin 2012, la puissance injectée dans les sondes est réduite de 50 W/mois pour simuler la phase de décroissance thermique des déchets.

3.1.6 Évolution de l'EDZ

L'expérimentation CDZ « Compression de l'EDZ » installée en galerie GET (Figure 1) début 2011, vise à :

- Etudier l'effet de confinement mécanique sur le massif dans l'EDZ (simulation de l'effet de gonflement d'un noyau de scellement) :
 - ✓ Cicatrisation de l'endommagement,
 - ✓ Evolution de la perméabilité.

- Etudier l'effet du déconfinement soudain ou progressif de la paroi (simulation de l'effet de retrait ou de dégradation progressive du revêtement des galeries) :
 - ✓ Dégradation de l'endommagement,
 - ✓ Evolution de la perméabilité.

La resaturation artificielle de l'EDZ a démarré en septembre 2011. Les travaux réalisés en 2012 concernent :

- Des tests hydrogéologiques en forages en janvier et en juin pour déterminer l'évolution de la perméabilité dans l'EDZ au cours de la resaturation. Fin septembre, l'hydratation de l'EDZ a été interrompue pour la réalisation de tests hydrauliques d'interférence dans l'EDZ de type test « pression constante » en octobre puis en novembre-décembre,
- Des essais de tomographie sismique en forages afin de visualiser la connexion du réseau de fissures.

La réalisation d'un scan 3D de la carrure CDZ pour suivre l'évolution de la géométrie de la zone.

3.2 Migration des gaz produits dans le stockage et perturbations induites

L'expérimentation dédiée au gaz, PGZ, est composée de deux essais distincts appelés PGZ1 et PGZ2.

L'objectif de PGZ1 est de caractériser les modalités de migration du gaz dans l'argilite en injectant du gaz dans un forage et en suivant la réponse de la roche par des forages adjacents. Sur l'année 2012, une nouvelle phase d'injection de gaz a démarré en octobre à débit constant.

L'objectif de PGZ2 est de déterminer si la migration de gaz à travers les scellements composés d'argile gonflante (bentonite) peut perturber leur resaturation naturelle par les argilites. L'essai consiste à faire passer du gaz dans un forage équipé d'un bouchon de bentonite en contact direct avec l'argilite pour simuler un scellement de galerie. Dans le forage réalisé en premier où la bentonite a été pré-compactée, la saturation a déjà été atteinte, et les pressions sont toujours suivies. Dans le forage équipé d'un bouchon composé d'un mélange de poudre et pellets de bentonite compacté en place, du gaz a été injecté à débit constant jusqu'à fin décembre, moment où l'injection a été arrêtée pour suivre la resaturation.

3.3 Perturbations chimiques et microbiologiques

3.3.1 Effet de la température

L'expérimentation EPT « Eau Porale en Température » a été lancée en début d'année, avec l'objectif d'obtenir des informations sur la composition des phases aqueuse et gazeuse associées à un volume d'argilite du Callovo-Oxfordien porté à une température de 85 °C.

Le dispositif expérimental se compose de 7 forages verticaux montants réalisés en 2012, en voûte dans la niche NED de la galerie GED, dont :

- 4 forages chauffants placés de façon symétrique autour de l'intervalle du forage de tests (Figure 30). Pour éviter toutes perturbations oxydantes et microbiologiques, ces forages ont été forés à l'argon et instrumentés en respectant des conditions de propretés microbiologiques,
- Un forage de suivi du champ thermique et un forage de suivi de pression.

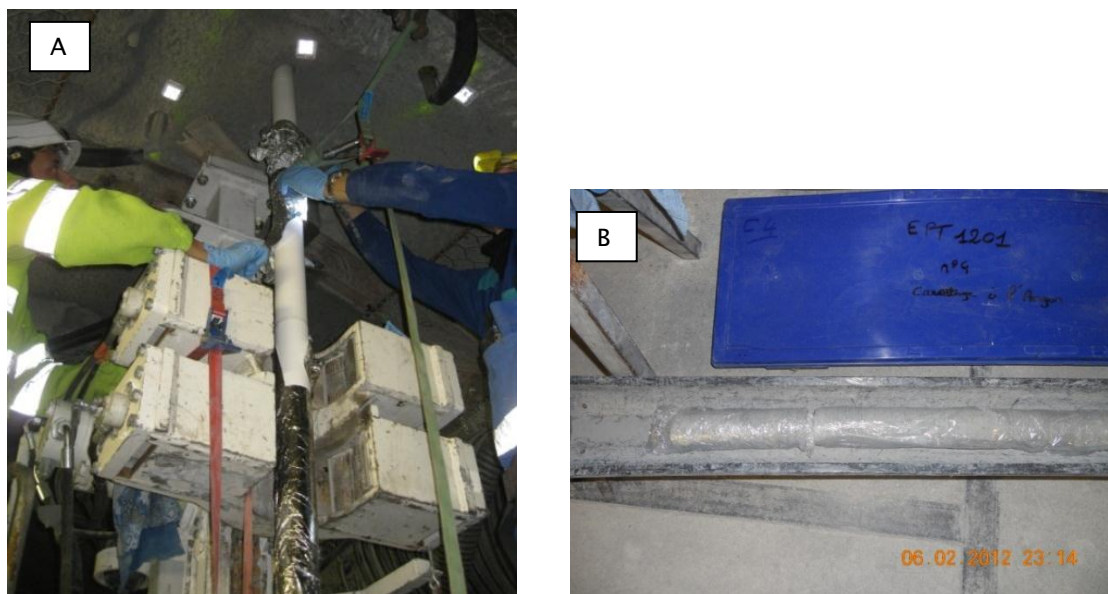


Figure 30 A : Mise en place l'équipement dans le forage – B : Conditionnement d'une carotte pour prélèvement d'échantillons

Des modules de prélèvements des phases liquide et gazeuse ainsi qu'un spectromètre infra-rouge ont été connectés au forage de tests en mars 2012 pour étudier l'évolution physico-chimique des phases en présence.

Des prélèvements d'eau ont été effectués dans l'intervalle de tests du forage central et la pression interstitielle suivie dans les quatre forages périphériques (elle était de 0,4 à 0,6 MPa fin 2012). La phase de chauffage ne débutera que lorsque la resaturation en eau du volume de roche autour de l'intervalle de tests sera achevée.

3.3.2 Effet de l'oxydation

L'expérimentation POX traite de l'impact sur la roche d'une perturbation oxydante (telle qu'il pourrait se produire lors du creusement des ouvrages souterrain).

Une phase d'injection continue d'oxygène pure a débuté le 08/11/2011 en maintenant une pression partielle de l'ordre de 0,20 à 0,35 bar d'oxygène dans l'intervalle de tests. Elle a été arrêtée le 24/05/2012 pour éviter un colmatage complet de la ligne d'extraction d'eau par des sels précipités de CaSO_4 , résultant de l'oxydation de la roche.

La teneur en oxygène de la phase gazeuse extraite du forage est devenue quasi nulle au bout d'un mois environ et la ligne d'extraction s'est dé-colmatée. Après remplacement du gaz présent dans le forage par le mélange contenant 14 % d'oxygène, 76 % d'argon, 5 % d'hélium et 5 % de néon, une nouvelle phase d'injection de ce mélange a repris le 19/10/2012 sous une pression de 0,15 MPa.

3.3.3 Suivi du développement bactérien

Un suivi microbiologique des ouvrages est réalisé de façon quasi-systématique et un suivi spécifique est opéré en fond de la galerie GED (expérimentation BAC) dans la zone à ventilation contrôlée où des plaques de différents matériaux (verre, béton, acier) ont été apposées contre la roche laissée nue. Deux campagnes de prélèvements par grattage des interfaces matériaux/roche ont déjà eu lieu. Les analyses ont montré un très faible voire une absence de développement bactérien. Ce résultat est associé à la faible teneur en eau au niveau des parois des galeries ventilées. En effet, les bactéries présentes ne peuvent se développer sans présence significative d'eau, vecteur de mobilité et d'apport de nutriments.

De même, une grande partie des expérimentations dites « géochimiques » sont le lieu de prélèvements, solides ou liquides, destinés à caractériser et à quantifier les souches bactériennes présentes.

En 2012, dans le cadre des essais de corrosion MCO, des biofilms ont été observés à la surface des coupons d'aciers plongés dans l'eau porale qui s'accumule dans la chambre de tests du forage MCO1202 à une température proche de 90 °C. Des souches sulfato-réductrices ont été mises en évidence dans les échantillons fluides par technique de mise en culture.

L'effet de la température sur le métabolisme bactérien en environnement souterrain sera également investigué dans le cadre de l'expérimentation EPT (§ 3.3.1). Les premiers prélèvements réalisés en 2012 vont permettre de caractériser un état microbiologique initial.

L'expérimentation POX (§ 3.3.2) permet d'étudier l'évolution des souches bactériennes utilisant l'oxygène et le passage d'un métabolisme anaérobie à un métabolisme aérobie ou inversement. Plusieurs prélèvements ont été réalisés au cours de cette expérimentation en 2012, avant et après l'injection d'oxygène dans le forage. Les analyses microbiologiques sont actuellement en cours.

L'expérimentation MLH (§ 3.4.1) permet d'étudier la vie microbienne dans des environnements alcalins (de pH compris entre 11 et plus de 13), attendus lors des premiers stades d'altération des bétons, et de voir s'il existe un seuil létal à pH très élevé.

3.4 Comportement des matériaux du stockage et de leurs interfaces avec l'argilite

3.4.1 Interface argilite / liants hydrauliques (expérimentation MLH)

Des solutions alcalines de pH 12,5 et 13,5 sont mises au contact de la roche depuis mi-2009. Elles sont régulièrement remplacées lorsque leur pH baisse afin d'étudier l'effet tampon de la roche. A terme, la roche en contact avec les solutions alcalines sera surcarottée afin d'étudier l'impact sur ces dernières.

Un forage comprenant un assemblage de plots de béton de type CEMI, CEMV et bas pH isolés les uns des autres par de la bentonite compactée a été surcarotté après 3 années de contact avec l'argilite. Les analyses des interfaces béton/argile et béton/bentonite sont en cours. Quatre forages semblables restent disponibles pour un suivi à plus long terme.

3.4.2 Interface argilite / matériaux d'une alvéole HA

Des mesures de corrosion d'acier non alliés (type E24) par électrochimie en conditions anoxiques permettent d'estimer des taux de corrosion de l'ordre de 60µm/an à 90 °C. Les essais de l'expérimentation MCO se poursuivent pour obtenir des mesures à plus longue échéance.

Concernant le verre, le prélèvement de la première canne de l'essai « MVE » porteuse d'un échantillon constitué d'un mélange de poudre de verre et de poudre de fer ayant séjourné plus de 400 jours dans l'eau du forage à 50 °C a été effectué en juin 2012 (Figure 31). Les analyses sont en cours.

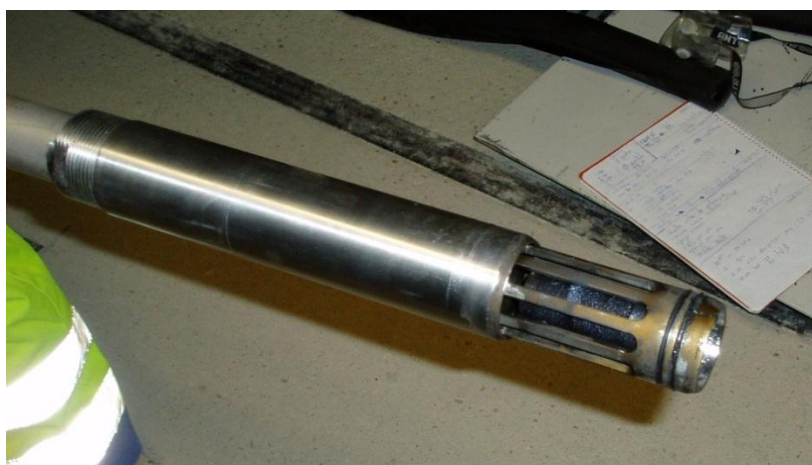


Figure 31 Extraction de la canne porte-échantillon du forage MVE1201

4. Les méthodes d'observation et de surveillance

4.1 Qualification des méthodes de monitoring des revêtements et soutènements

L'Andra a initié en 2009 un programme de R&D visant à développer, qualifier et en durcir les technologies et capteurs susceptibles de composer le dispositif d'observation - surveillance du stockage. L'expérimentation ORS « Observation du Revêtement et du Soutènement » répond aux besoins associés à l'observation - surveillance de sections de galeries de type MAVL. Il s'agit de vérifier l'adéquation des technologies avec leur futur milieu d'emploi, et notamment de :

- Réaliser une auscultation complète des points de vue thermique, hydraulique et mécanique permettant de comprendre le comportement des futures galeries de stockage de déchets MAVL,
- Vérifier *in situ* la faisabilité de l'auscultation envisagée d'une alvéole MAVL, *via* un test en galerie de l'instrumentation,
- Comparer des moyens de mesures par des technologies différentes et tenter de corrélérer les résultats,
- Qualifier les capteurs existants et tester *in situ* des nouveaux capteurs et/ou système de transmission,
- Evaluer la durabilité et les dérives des différentes technologies utilisées.

Les principaux moyens technologiques de cette section d'auscultation sont d'une part des capteurs placés dans le béton et d'autre part des capteurs en forage dans la roche. Les équipements installés dans cette section ont été raccordés au SAGD et sont opérationnels. Il s'agit de 3 extensomètres en forage inductifs (EMT), 3 cellules de pression totale à corde vibrante à interface argile - béton projeté (CPT), 4 cellules de pression interstitielles à corde vibrante en forages dans l'argile (CPI), 16 extensomètre à corde vibrante (ECV) et des fibres optiques noyées dans le revêtement béton (Figure 33).

Dans le cadre de cette expérimentation, des techniques d'étalonnage *in situ* sont également testées, comme, par exemple, l'étalonnage d'une mesure de température par fibre optique, système métrologique développé et breveté conjointement avec le LNE (Figure 32).

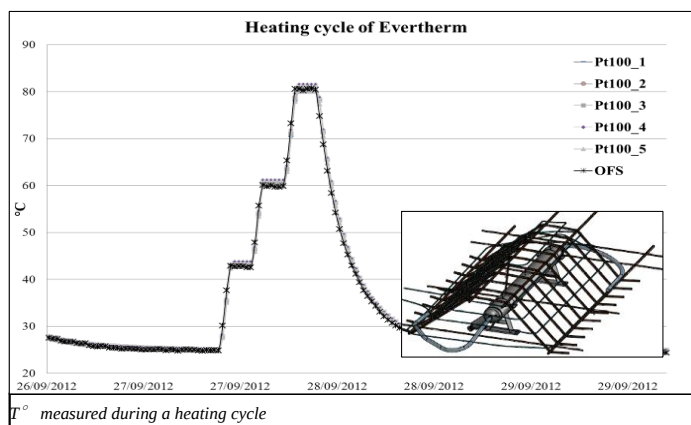
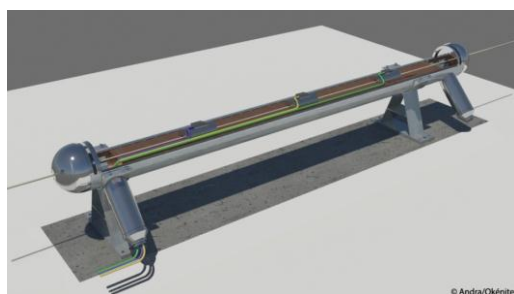


Figure 32 Système d'étalonnage de la mesure de température par fibre optique (OFS), fondé sur la technique des points fixes, installé dans ORS

Le retour d'expériences de l'expérimentation ORS est utilisé au fur et à mesure dans la conception de l'auscultation des alvéoles de stockage Cigéo et vise à fournir à terme un catalogue de technologies spécifiques, adaptées et qualifiées pour Cigéo ainsi que des modes opératoires associés.

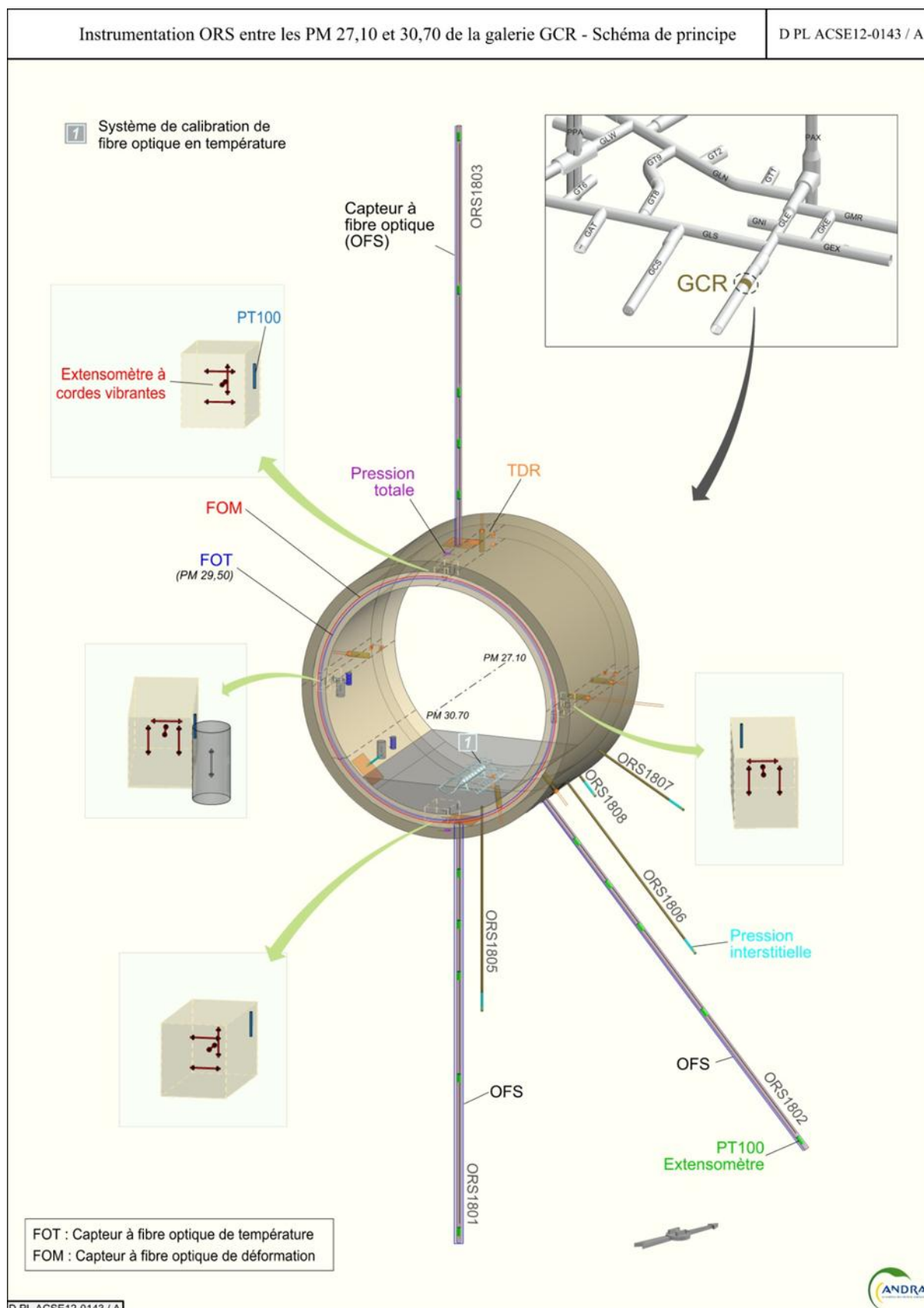


Figure 33

Schéma de principe des instrumentations de la section d'auscultation en galerie GCR

A titre d'illustration, on peut noter des résultats intéressants en ce qui concerne les fibres optiques qui permettent d'obtenir des mesures comparables aux capteurs conventionnels que ce soit pour la température ou les déformations, avec l'avantage certain de pouvoir réaliser des mesures en tout point de la galerie, ce qui n'est possible qu'avec des dizaines voire des centaines de capteurs individuels classiques.

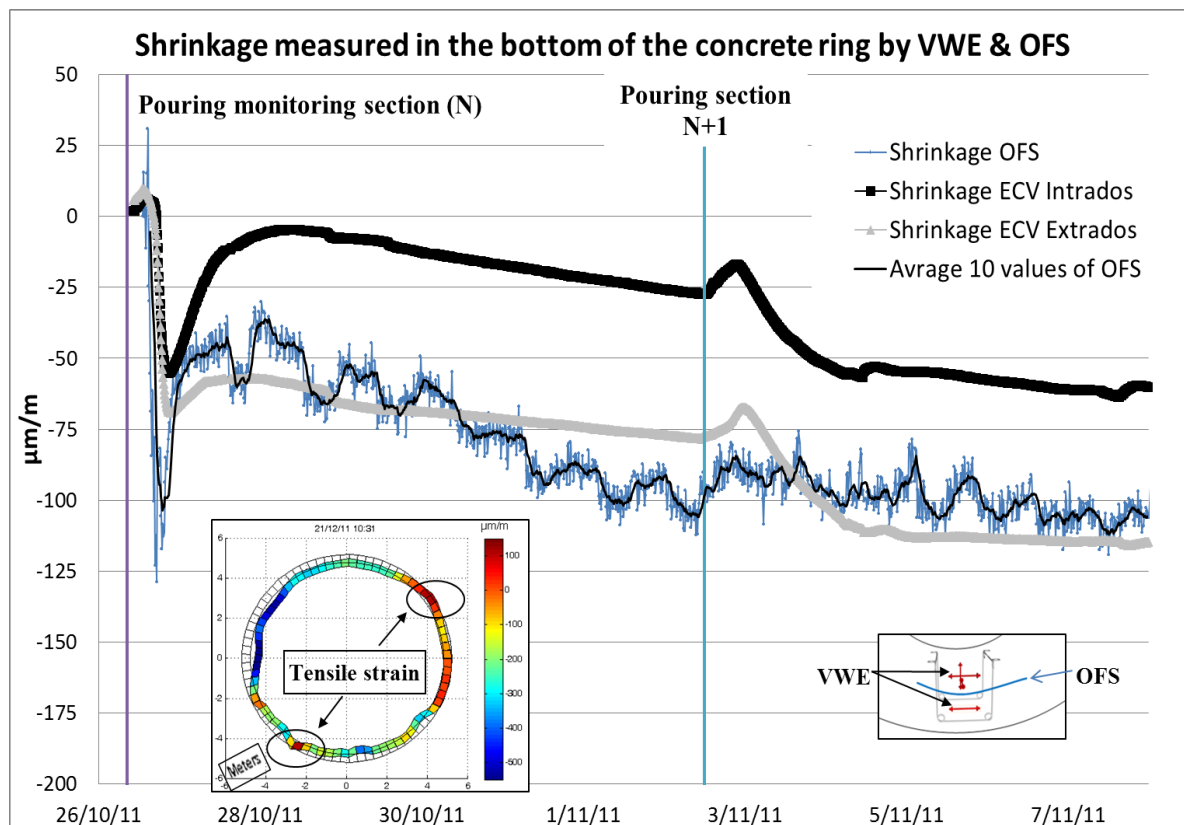


Figure 34

Comparaison des mesures obtenues dans ORS entre les fibres optiques (OFS) et les extensomètres à corde vibrante (ECV) classiquement utilisés depuis des décennies. L'encart, en bas à gauche, permet de visualiser que les fibres optiques permettent des mesures en tout point, ce que permettent difficilement les capteurs individuels

4.2 Mesure de la sismicité naturelle en souterrain

Avec la mise en place d'une acquisition en continu pour les stations d'acquisition Geosig installées dans le Laboratoire Souterrain à différentes profondeurs, le nombre de séismes pouvant être utilisés dans l'analyse de l'atténuation des ondes en fonction de la profondeur a nettement augmenté. Il peut être estimé à plusieurs dizaines de séismes par an à comparer avec les deux séismes par an de l'ancienne configuration.

Le catalogue des événements enregistrés va d'un tir de Gondreville (de magnitude inférieure à 1,0) au séisme de Sumatra (de magnitude 8,0) en passant par le séisme au large d'Ajaccio (de magnitude 4,4). Du fait des distances aux épicentres, les fréquences dominantes enregistrées ont été de 5,2 Hz en moyenne pour Gondreville et Ajaccio, et seulement 0,12 Hz pour Sumatra. Le train d'ondes du séisme de Sumatra présente des fréquences certainement plus basses que la limite basse des capteurs (0,1 Hz). L'analyse préalable de ces trois événements montre une variabilité de l'amplification et de la fréquence des vibrations suivant la distance et la nature du séisme. L'acquisition en continu d'un plus grand nombre d'événements de ces différents types permettra d'appréhender plus précisément cette variabilité.

La disponibilité nouvelle de nombreux séismes ouvre le champ d'analyse répondant toujours à la question initiale : Quelles sont les variations d'amplitude des sollicitations avec la profondeur ? Une approche statistique est maintenant possible. Il faut donc recueillir les paramètres de l'amplitude et de la fréquence des séismes des 4 stations accéléromètres pour ces nouveaux séismes afin de décrire plus précisément une loi d'atténuation des séismes dans le massif. Le nombre important de ces séismes permettra aussi de définir les variabilités possibles suivant l'origine des séismes ou éventuellement des tirs en cas d'anisotropie ou d'hétérogénéités géologiques autour du laboratoire, suivant qu'ils proviennent de l'Est (Vosges, Allemagne, ...) ou des Alpes, par exemple.

Il y a néanmoins un préalable à cette étude qui consiste à estimer l'influence des filtres appliqués sur les amplitudes et rapports d'amplitude des sollicitations sismiques. Par ailleurs, les capteurs accélérométriques en place ont une dynamique importante (± 1 g) et une bande de fréquence élevée (0,1-100 Hz) qui présentent quelques limites d'acquisition au regard des signaux sismologiques de très faible amplitude enregistrés dans le Laboratoire jusqu'à présent. Ils pourraient être remplacés par des capteurs larges bandes à grande sensibilité.

5. La formation en lien avec le stockage

5.1 SOMET

Au travers de SOMET « Structure pour l'observation et la mémoire de l'environnement de la Terre », labellisé « Infrastructure de Recherche » par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, l'Andra souhaite valoriser ses équipements scientifiques et techniques (Laboratoire Souterrain, l'Observatoire Pérenne de l'Environnement, Ecothèque) en y associant une station pédagogique destinée à accueillir en résidence les étudiants des cycles supérieurs en stages pratiques (géosciences, génie civil, environnement, biodiversité, SHS, ...), ainsi que les personnels d'entreprises de recherches géologiques, minières et souterraines.

Cette vocation de dispensateur de formation et de diffusion de culture scientifique est favorisée par le contexte régional *via* l'Université de Lorraine, notamment l'OSU OTELo, mais sera ouverte à la totalité des établissements d'enseignement français, avec une potentielle ouverture européenne que favorisera l'implantation géographique de SOMET au cœur de l'Europe.

Elle serait susceptible d'accueillir des étudiants en formation dans des disciplines relevant notamment des sciences de l'univers et de l'environnement mais également de la métrologie, des travaux souterrains et des sciences humaines et sociales.

5.2 Sécurité

Un Centre de secours géré par le SDIS 55 a été mis en service sur le laboratoire le 05/03/2012 (Figure 35). Il a pour objectif d'intervenir sur le site du laboratoire pour le secours à personne (dans un premier temps) aussi bien en surface que dans les installations souterraines.

Il est composé de sapeurs-pompiers volontaires qui travaillent sur le site du laboratoire. Au 31/12/2012, l'effectif était de :

- 49 sapeurs-pompiers volontaires
 - ✓ dont 9 chefs d'agrée VSAV (Véhicule de secours et d'Assistance aux Victimes), 2 formateurs secourisme et 2 formateurs incendie.



Figure 35 Centre de secours du Laboratoire

Pour intervenir, le Centre de secours dispose de deux véhicules :

- Un VARI (Véhicule Appareils Respiratoires Isolants - Figure 36),



Figure 36 VARI

Un VSAV (Véhicule de Secours et d'Assistance aux Victimes - Figure 37).



Figure 37 VSAV

Les sapeurs-pompiers volontaires effectuent des manœuvres d'entraînement de secourisme une fois par semaine (Figure 38).

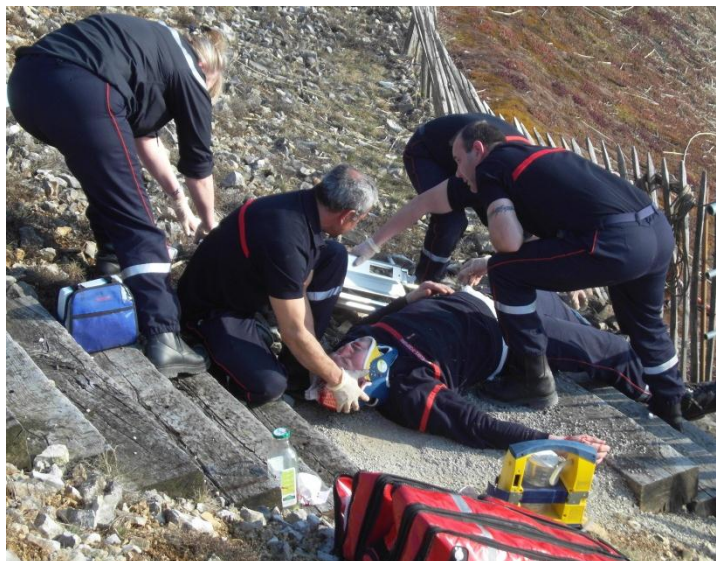


Figure 38 Manœuvre de secourisme

En 2013, il est prévu de former les sapeurs-pompiers volontaires pour l'incendie. Un véhicule fourgon pompe tonne sera acquis.

La mise en place d'un Centre de secours au laboratoire constitue un engagement fort de l'Andra et du SDIS pour la sécurité. Il s'agit de disposer de personnels compétents, qui connaissent parfaitement les installations et directement opérationnels.

Des perspectives peuvent être envisagées à moyen terme pour poursuivre les formations des sapeurs-pompiers volontaires en particulier pour des interventions de secours en milieu radiologique et chimique.

6. Conclusions et perspectives

Les réalisations dans les installations souterraines en 2012 ont permis à l'Andra de poursuivre les programmes d'études et de recherche ainsi que les essais technologiques dans le respect des délais et des contraintes.

On retiendra principalement en 2012 :

- Le creusement d'une alvéole HA chemisée de plus de 100 m de long selon sigma H,
- La réalisation des travaux préalables au démarrage d'un test de chauffe dans une alvéole HA,
- La poursuite de l'acquisition de connaissances sur le comportement hydro-géomécanique de la roche et des soutènements dans des profils de galeries divers,
- Le creusement et les premiers aménagements de la galerie destinée à recevoir en 2013 un noyau de scellement.

Toute expérimentation confondue, l'instrumentation mise en place dans le Laboratoire Souterrain en 2012 a nécessité la réalisation de 53 forages carottés. Cela représente un linéaire de carottes de 726 m qui ont fait l'objet d'un levé géologique. 2 075 échantillons ont été prélevés et conditionnés à partir de ces carottes.

Il y a donc, au total, 573 forages dans le Laboratoire Souterrain représentant 7300 ml de carottes.

En 2012, le nombre de points de mesure acquis en continu à partir des capteurs installés depuis le début de l'installation souterraine s'élève à 7 000 sur la trentaine d'expérimentation en cours (annexe 1). Nous n'avons fait état dans ce document que des expérimentations pour lesquelles il y a eu des travaux importants d'installation d'équipement, mais un suivi long terme des essais installés depuis 2004 perdure.

Pour 2013, les principaux travaux envisagés par l'Andra dans les installations souterraines comprennent :

- Le creusement d'une galerie avec un soutènement -revêtement de type voussoirs grâce à la mise en œuvre d'un tunnelier à attaque ponctuelle, ceci afin de tester simultanément une nouvelle méthode de creusement, et un nouveau type de soutènement susceptible d'être employé dans le futur stockage.
- La construction du Noyau de Scellement dans la galerie GES construite en 2012.
- La réalisation d'essais de forages longs (100 m) dirigés de diamètre 152 mm selon sigma H afin de mesurer les performances géométriques de ces forages et examiner la faisabilité d'utiliser cette technique pour faire des avant-trous pilotes pour de futures alvéoles HA.
- La mise en place d'un coulis bentonitique à l'extrados d'une alvéole HA pour homogénéiser les contraintes portées sur le chemisage

Annexe 1

Liste alphabétique des expérimentations en cours ou terminées au Laboratoire

Expérimentation	Dénomination	Etat d'avancement
ACC	Mesures d'accélération sismique en profondeur	En cours
ALC/HAT	Construction des alvéoles HA	En cours
BAC	Perturbations bactériologiques	En cours
BPE	Soutènement par béton projeté épais	En cours
BHN	Bentonite hydratée naturellement	Phase de conception
CAC	Comportement alvéoles et chemisages HA	En cours
CDZ	Compression de l'EDZ	En cours
DIR	Diffusion traceurs inertes et réactifs	Démantelée
DRN	Diffusion radionucléides	Phase de conception
EPT	Chimie de l'eau porale en température	En cours
GGD	Comportement d'une galerie grand diamètre	Phase d'installation
KEY	Rôle d'un dispositif de clé d'ancrage	En phase de suivi long terme
MCO	Corrosion des matériaux ferreux	En cours
MLH	Interaction de la roche et des liants hydrauliques	En cours
MVE	Interaction roche/verre/fer	En cours
NSC	Performance d'un noyau de scellement	Phase de conception
OHZ	Observation et suivi hydromécanique de l'EDZ	En cours
ORS	Observation du comportement des revêtements et des soutènements	En cours
PAC	Prélèvement et analyses chimiques de l'eau porale	En cours
PEP	Mesures de pression et perméabilité de la roche	En cours
PGZ	Perturbation HM induite par les gaz	En cours
POX	Perturbations oxydantes en paroi de galeries	En cours
REP	Réponse géomécanique du Callovo-Oxfordien au creusement du puits principal	Suivi long terme dans OHZ
SDZ	Effet de la saturation/désaturation sur l'EDZ	En cours
SUG	Caractérisation de l'endommagement des parois et suivi dans les premières galeries	Suivi long terme dans OHZ
TEC	Test d'élongation d'un chemisage HA (maquette)	En cours
TED	Propriétés et effets thermiques dans la roche	En cours
TER	Réponse de l'argilite à une sollicitation thermique	Démantelée
TPV	Utilisation d'un tunnelier pour pose de voussoirs	Phase de conception
TSS	Tests de saignées radiales pour scellement en galerie	Phase 1 en cours