

# **DOSSIER**

## **Un laboratoire naturel à Roselend dans le Beaufortin en Savoie**

**Dominique Lemaire  
Septembre 2009**

## UN LABORATOIRE NATUREL À ROSELEND (Beaufortain, Savoie)

Le Laboratoire Naturel de Roselend dépend du Département d'Analyse et de Surveillance de l'Environnement du pôle Défense du CEA (Commissariat à l'Energie Atomique). Il est situé dans le Beaufortain, à Arêches (commune de Beaufort-sur-Doron), à proximité du barrage de Roselend.

Éric Pili étudie, depuis 1998 (les recherches ayant débuté en 1995), avec son équipe (chercheurs, ingénieurs, techniciens, étudiants) les phénomènes physiques et chimiques associés à l'écoulement de l'eau dans le Massif du Méraillet. Dans ce site exceptionnel, ils ont installé leurs équipements au coeur de la roche, 55 m sous terre, dans l'ancienne poudrière construite par EDF, lors des travaux du barrage de Roselend, devenue depuis la Station Sismique de Roselend.

Les expériences menées consistent à comprendre les phénomènes qui, d'une part pourraient permettre de prévoir les séismes, d'autre part contrôlent la qualité et le débit des eaux souterraines, le signalement de l'éminence d'un tremblement de terre et la qualité des eaux souterraines étant fortement liés. L'un des buts est donc de mettre au point une technique permettant de prévoir les tremblements de terre. En effet, les fluctuations saisonnières du niveau de l'eau de la retenue de Roselend, qui peuvent atteindre 70 m, correspondent à des variations de pression exercée sur le massif rocheux, qui induisent des contraintes entraînant la déformation de la roche.

Ces variations de pression hydrostatique reproduisent en petit les conditions à l'œuvre avant un séisme. L'avantage de la galerie de Roselend est double : ce phénomène est cyclique, ce qui facilite l'expérimentation, et le processus est trop modeste pour arriver jusqu'à la rupture.

Avant un séisme, les contraintes s'accumulent dans la roche. Les déformations qui en résultent engendrent des perturbations multiples : dans la roche elle-même (fermeture ou ouverture des fissures, mouvement du sol, ...), au niveau des eaux souterraines (circulation, débit, qualité : température, minéralisation, ...) et des émissions de gaz (radon). L'étude et la compréhension de ces déformations, et des paramètres qui y sont liés, doivent permettre de trouver des indices avant-coureurs d'un séisme.

### **Géologie**

Le massif du Beaufortain est, géographiquement, défini comme étant le bassin versant du Doron de Beaufort et de ses affluents.

Il est, géologiquement, situé dans la partie nord du massif cristallin externe de Belledonne, divisé en 2 rameaux, externe et interne, séparés et entourés par les terrains sédimentaires de la zone dauphinoise, et il s'étend vers l'Est dans la zone valaisanne.

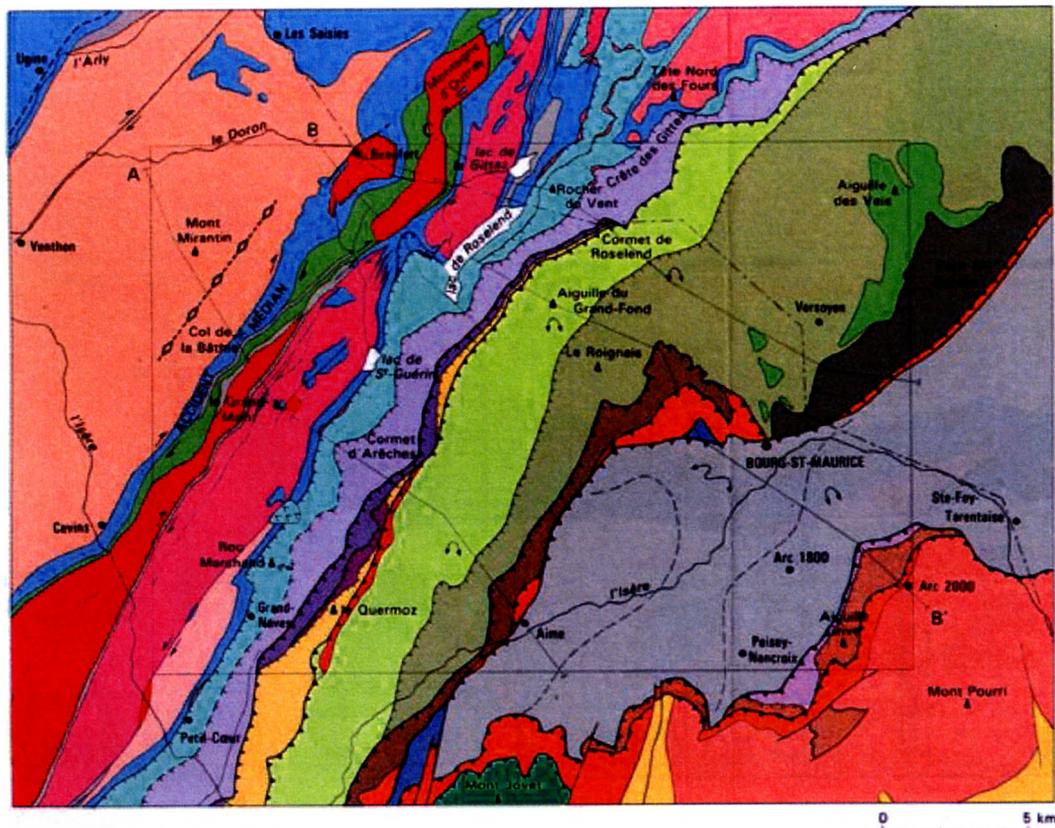
Le lac de Roselend borde le flanc est du rameau interne, constitué de gneiss et micaschistes hercyniens dans lesquels a été creusée l'ancienne galerie EDF (figure 1).

### **Équipement de la galerie**

La galerie, orientée selon N 65°, longue de 128 m, haute de 2,4 m et dont l'extrémité se trouve à 55 m de profondeur (au niveau de la carrière du barrage), est équipée sur toute sa longueur de dispositifs de mesures automatisés, ainsi que d'une station météorologique extérieure (figure 2).

Les paramètres dont les variations sont étudiées sont nombreux (pression hydrostatique dans la roche ; circulation des eaux souterraines, leur débit et leur évolution chimique ; taux de gaz carbonique ( $CO_2$ ) ; propagation des ondes dans la roche ; mouvements du sol ; température, et son évolution entre le sol et la voûte de la galerie ; pression atmosphérique, ...).

Comme dans toutes les galeries souterraines, la température y est stable, été comme hiver, à environ 7 °C et le taux d'humidité y est voisin de 100 %.



**DOMAINE DAUPHINOIS**

- Série satinée
- Schistes verts
- Migmatites et orthogneiss
- Gneiss et migmatites 1 - Mylonites
- Granites
- Terrains houillers
- Gneiss, micaschistes et migmatites
- Unités autochtones ou parautochtones
- Unités décollées (et écaillés de socle)
- Unité de la Crête des Gittes (et écaillés de socle)

**DOMAINE À AFFINITÉS ULTRA DAUPHINOISE ET/OU VALAISANNE**

- Unité du Cormet d'Arèches
- Unité de la Bagnaz
- Unité du Quermoz

**DOMAINE VALAISAN ("DES BRÈCHES DE TARENNAISE")**

- Unité de Moûtiers 1 - Gypses
- Unité du Roignais - Versoyen (avec roches volcaniques)

**DOMAINE D'ORIGINE PALÉOGÉOGRAPHIQUE INCERTAINE**

- Unité du Roc de l'Enfer ("faisceau de Salins")
- Unité du Petit-St-Bernard

**DOMAINE SUBBRIANÇONNAIS**

- Unité de la Grande-Moënzard (?)

**ZONE DES GYPSES**

- Gypses

**DOMAINE BRIANÇONNAIS**

- Houiller et Stéphano-Permien } Unité du Houiller
- Couverture sédimentaire, Gneiss du Sapey (= Ruitor) } Unité du Sapey
- Couverture sédimentaire, Socle de la Vanoise } Unité de la Vanoise

**NAPPE DES GYPSES**

- Gypses

**DOMAINE DES SCHISTES LUSTRÉS**

- Klippe du Mont-Jovet

extrait de la notice de la carte à 1:50.000<sup>e</sup>, feuille Bourg-Saint-Maurice (retouché)

Figure 1 : Carte structurale du Beaufortain et de ses alentours (notice de la carte géologique à 1 / 50 000<sup>e</sup> de Bourg-Saint-Maurice, modifiée par M. Gidon, <http://www.geol-alp.com>).

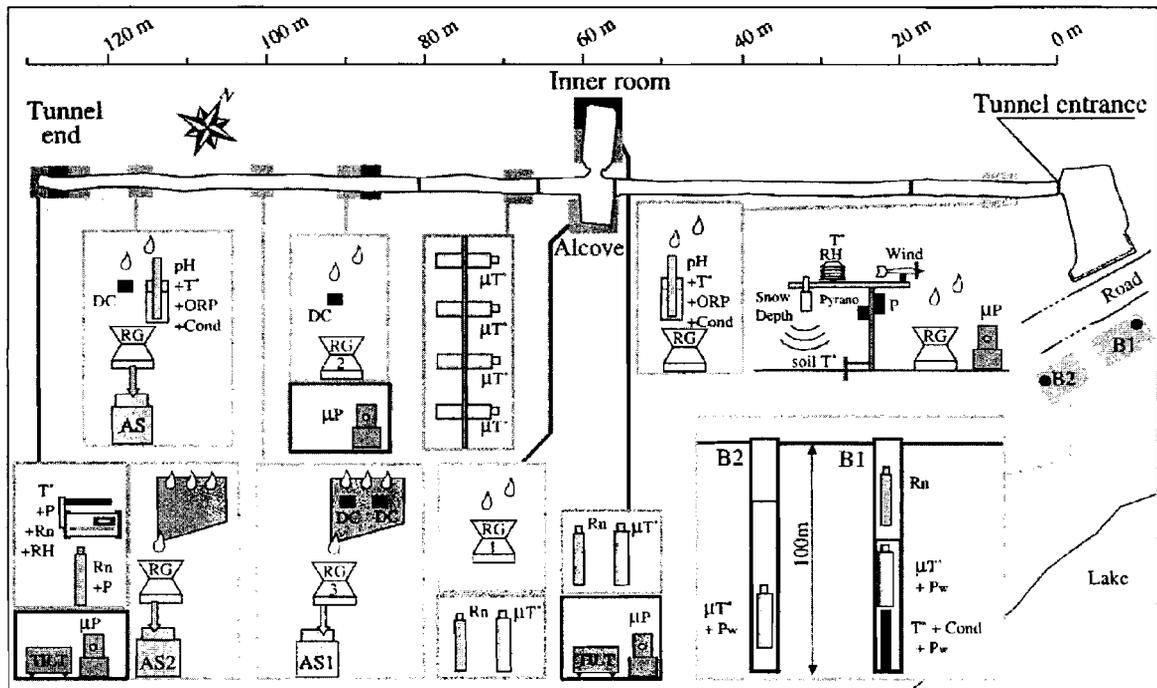


Figure 2 : Carte des zones instrumentées du tunnel (d'après A-S. Provost, P. Richon, É. Pili, E. Perrier et S. Bureau, 2004, *Fractured Porous Media Under Influence : The Roselend Experiment*, EOS, vol. 85, n°12, pp. 113-116). B : forage, DC : mesure d'écoulement d'eau, RG : pluviomètre, Cond : conductivimètre (minéralisation de l'eau), Pyrano : pyranomètre, P : pression atmosphérique ( $\mu P$  : haute précision de P), RH : Hygromètre, Rn : concentration en radon,  $T^\circ$  : température ( $\mu T^\circ$  : haute précision de T), Wind : direction et vitesse du vent, ORP : potentiel d'oxydo-réduction.

## Les paramètres mesurés dans la galerie

### *La circulation des eaux souterraines, l'évolution de leur débit et de leur composition chimique*

Le laboratoire est équipé d'une station météorologique complète, pour étudier l'écoulement des eaux souterraines (pluie, neige mais aussi de neige fondue, ...). Deux zones d'observation particulières ont été définies dans la galerie : l'une récolte les eaux qui, après avoir percolé à travers les 55 mètres de roche, s'égouttent de la roche massive (en fond de galerie, à 125 m de l'entrée), l'autre récolte les eaux qui s'égouttent de la roche là où elle est fissurée (10 m avant la zone précédente, à 115 m de l'entrée). L'eau qui s'égoutte est collectée dans des bûches de 3 m<sup>2</sup> et sa quantité est mesurée automatiquement toutes les heures. La quantité d'eau qui percole à travers la roche massive est très faible (1 litre par m<sup>2</sup> en 500 jours), alors qu'au niveau des fractures, elle est 3 000 fois supérieure (1 litre par m<sup>2</sup> en 4 heures).

Des prélèvements d'eau sont effectués, également automatiquement, entre toutes les 36 heures et tous les 4 jours, selon les besoins. Les eaux ainsi conditionnées en flacons sont ensuite analysées en laboratoire, une fois la

tournée de récupération des flacons effectuées (une fois par mois à une fois tous les trois mois).

Un épisode pluvieux particulièrement riche en chlore, venu du Nord de la France en avril 2002, a permis de déterminer le temps de transfert de l'eau au travers du massif rocheux sous la carrière. Au niveau de la roche massive, l'eau met environ 300 jours pour arriver 55 m plus bas, alors qu'au niveau de la roche fracturée, elle s'écoule en une soixantaine de jours, soit 5 fois plus vite. Mais ce n'était qu'une petite pluie. Une quantité plus importante d'eau déversée d'un seul coup peut mettre moins de 24 heures pour traverser les 55 m de roche ! On comprend ainsi mieux les effets naturels ou anthropiques sur la qualité des ressources en eau souterraine.

Deux piézomètres sont situés en bordure du lac, B2 un peu plus éloigné de celui-ci que B1, ce qui explique que son niveau évolue moins rapidement quand la surface du lac fluctue (figure 3).

Les paramètres chimiques des eaux souterraines montrent également une corrélation avec l'intensité des précipitations. En effet, l'absence d'infiltration (période hivernale) voit la baisse des concentrations en  $SO_4^{2-}$  et en  $Mg^{2+}$  dans les eaux souterraines (figure 3). Leur débit est clairement corrélé avec l'infiltration (faible en hiver) et est plus important au niveau de la roche fracturée (RG1) que dans la roche massive (RG2 et RG3).

Le taux de radon 222 augmente dès l'apparition de fortes précipitations (figure 3), ce qui correspond vraisemblablement à un relargage du gaz par remplissage des fissures (P. Richon *et al.*, 2005).

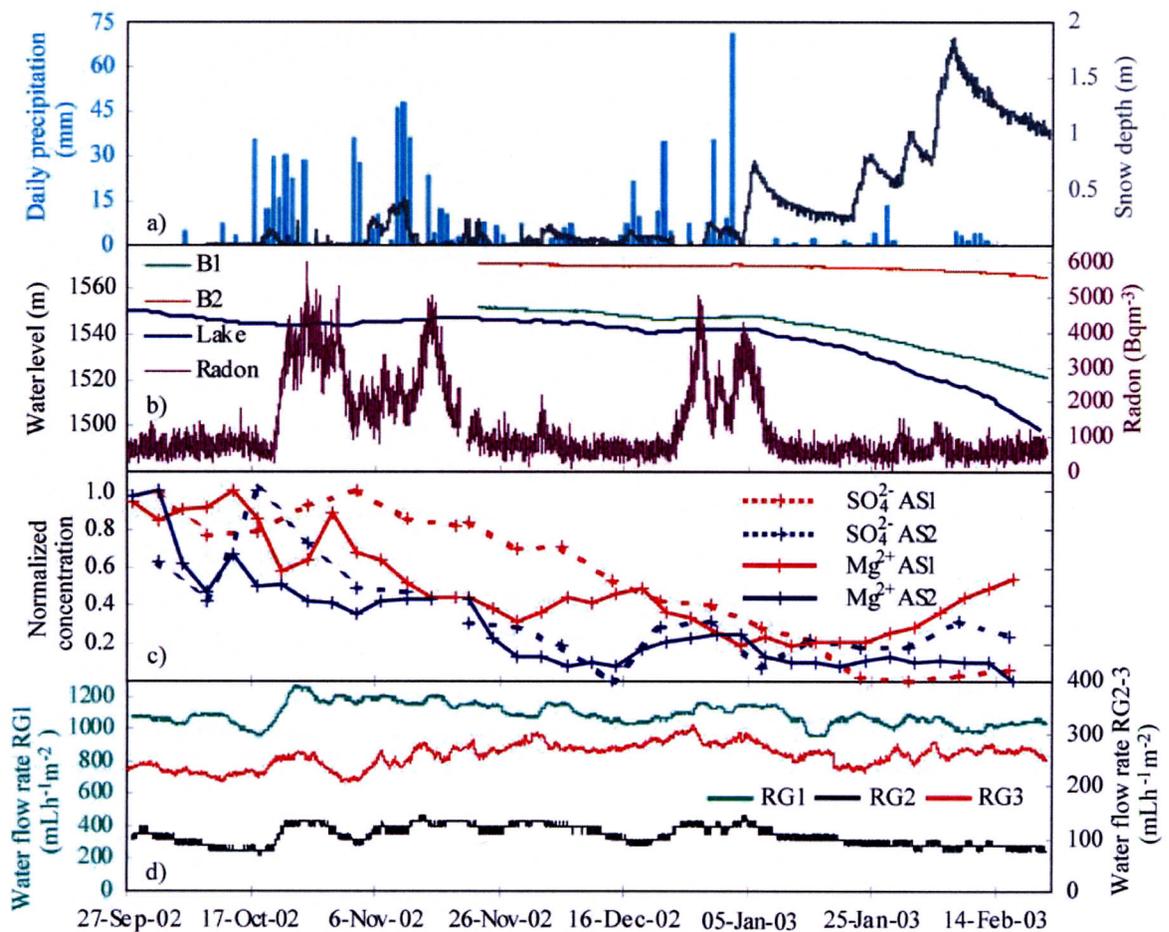


Figure 3 : Variations dans le temps des paramètres mesurés dans la galerie entre le 29 septembre 2002 et le 14 février 2003. De haut en bas : (a) précipitations journalières (mm, en bleu) et neige (m, en gris) ; (b) niveau d'eau du lac (m, bleu), et dans les piézomètres B1 (vert) et B2 (rouge), concentration de radon dans l'alcôve (Bq/m<sup>3</sup>, pourpre) ; (c) concentrations normalisées en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et en Mg<sup>2+</sup> dans l'eau souterraine de AS1 (rouge) et AS2 (bleu) (cf. figure 2) ; (d) débit de l'eau souterraine (ml/h/m<sup>2</sup>) dans 3 bâches de récupération de la galerie.

#### - La quantité de gaz carbonique (dioxyde de carbone, CO<sub>2</sub>)

Les roches dans lesquelles est creusée la galerie, gneiss et micaschiste hercyniens contiennent de la pyrite, ainsi que des minéraux carbonatés qui réagissent en libérant du CO<sub>2</sub>. Par ailleurs, les racines des végétaux, dans le sol de la carrière, produisent du CO<sub>2</sub>, qui s'infiltré à partir du sol vers le tunnel, en même temps que l'eau. Ces deux sources de CO<sub>2</sub>, l'une minérale et l'autre végétale, font l'objet de mesures précises dans le cadre des recherches qui débutent sur le lien entre le réchauffement climatique et la qualité des eaux.

#### - La propagation des ondes dans la roche

C'est une expérience qui a été menée pendant 2 ans par un collègue japonais de l'Institut de Recherche sur les Tremblements de Terre de Tokyo, attiré par la qualité des recherches et le contexte si particulier de Roselend. Deux barres métalliques de 1 m de long et de 8 cm de diamètre ont été placées dans la roche

suivant 2 directions différentes en fonction de sa structure. Un petit marteau vibreur frappe l'extrémité de ces barres engendrant des ondes acoustiques qui se propagent dans la roche, à l'instar des ondes sismiques. Quelques mètres plus loin, 2 autres barres, disposées dans 2 petites alcôves perpendiculaires à la galerie, servent de récepteurs. Les variations, mesurées plusieurs fois par heure, de la vitesse de propagation de ces ondes, permettent de connaître l'état de contrainte des roches.

*- Les mouvements du sol*

Deux inclinomètres sont disposés dans une pièce latérale fermée, ils mesurent l'inclinaison du sol dans les 2 directions, nord-sud et est-ouest. Ces enregistrements sont très sensibles et mesurent des variations inférieures à un dix millième de degré.

Autant dire que les mouvements du sous-sol, même imperceptibles, sont enregistrés, ici. D'autres déplacements, plus grands (de l'ordre du millimètre tout de même), sont mesurés à l'aide d'une station GPS fixe installée par des chercheurs de l'Observatoire de Grenoble, qui collaborent avec Éric Pili et son équipe.

*- La température et son évolution entre le sol et la voûte de la galerie (2,4 m)*

La température n'est stable qu'au degré près or la température est mesurée au millième de degré. En fait, il fait, généralement, légèrement plus chaud près du sol et légèrement plus froid au plafond, sauf dans de rares cas que les chercheurs tentent d'expliquer.

**Conclusion**

Les résultats de ces dix dernières années de recherche sont prometteurs et ont alimenté de nombreuses publications scientifiques internationales. Un colloque a été organisé sur le sujet, au Chornais (Arêches), en octobre 2005, auquel des experts nationaux et internationaux y ont participé (chercheurs français des universités de Chambéry, de Grenoble et de Toulouse ; de l'Institut de Physique du Globe de Paris, d'EDF et de Météo-France, mais également des chercheurs des universités de Tokyo et de Berkeley). Mais de nombreuses observations doivent encore être interprétées avant d'avancer dans la prévision des séismes.

Dominique Lemaire