

Etat d'avancement de l'étude du gonflement de Lochwiller

Sous-Préfecture de Saverne, le 2 mars 2016



Plan de l'exposé

- Rappel concernant l'étude du potentiel de gonflement résiduel à Lochwiller
 - Objectifs
 - Moyens : présentation des investigations réalisées, des analyses et des essais
- Présentation des résultats obtenus à fin janvier 2016 et interprétation
 - Géologie et minéralogie – Degrés de transformation des évaporites
 - Caractéristiques des eaux souterraines :
 - Hydrogéologie et hydrochimie
 - Datation des eaux
 - Température des eaux souterraines
 - Localisation du gonflement
 - Caractéristiques géotechniques des terrains
 - Potentiel de gonflement des terrains – résultats et difficultés rencontrées
 - Prévisions de surrection
- Conclusion
- Mise en place d'un comité d'experts international

Objectifs de l'étude

Reconnaissance de l'état de transformation de l'anhydrite en profondeur et dans l'espace

- Réalisation d'un modèle structural : cartographie en 3D des couches sédimentaires, de la répartition de l'anhydrite, du gypse et des argiles
- Estimation de la quantité d'anhydrite non encore transformée
- Estimation de la vitesse de gonflement des terrains (anhydrite et argiles) afin d'évaluer les temps caractéristiques de la poursuite du phénomène

Moyens

- Réalisation de 5 forages équipés en piézomètres (voir plan de localisation)
 - Description des terrains rencontrés
 - Réalisation de diagraphies gamma-ray
 - Analyses minéralogiques des carottes de roche
 - Vue de la répartition dans le sous-sol de l'anhydrite et du gypse
 - Acquisition de connaissances sur la nature des argiles (gonflantes ?)
 - Soumission des carottes à des essais géotechniques, dont des essais de gonflement
 - Réalisation de prélèvements d'eaux souterraines
 - Analyses chimiques
 - Analyses de datation
 - Réalisation de profils de conductivité électrique et de température des eaux souterraines

Résultats des observations géologiques, des analyses minéralogiques et des diagraphies

■ Présence d'une zone altérée / d'une zone intègre

- Quasi-absence d'évaporites sur les premiers mètres sous la surface
- Marnes / Argilites avec traces poudreuses blanches ou granules d'anhydrite
- Apparition brutale des évaporites aux profondeurs suivantes :

- SC4: 8,5 m
- SC5 : 18,6 m
- SC6 : 17,3 m
- SC7 : 9,8 m

- 1,3 % en moyenne d'évaporites dans la zone altérée

- 52,6 % en moyenne d'évaporites dans la zone intègre



Résultats des observations géologiques, des analyses minéralogiques et des diagraphies

- Présence d'une zone altérée / d'une zone intègre
 - Couche de sub-surface « lessivée » au cours de l'ère Quaternaire par les infiltrations d'eau de pluie
 - Hydratation d'anhydrite en gypse
 - Disparition du gypse par dissolution
 - Persistance des marnes et des argiles, contenant de rares vestiges d'évaporites
 - Constituait une nappe aquifère « historique », beaucoup plus superficielle que la nappe aquifère « actuelle » captée par les piézomètres
 - Mentionné dans la littérature comme « *weathered Keuper* » ou « *leached Keuper* »

Résultats des observations géologiques, des analyses minéralogiques et des diagraphies

- **Corrélation des couches entre les forages**
 - Difficile par les couleurs des couches
 - Proposition d'après les diagraphies gamma-ray (voir planche) malgré difficultés liées à la zone altérée, qui « lisse » les signaux
 - Confortée par la présence d'un banc particulier : brèche contenant des évaporites roses ou orangées sur 70-80 cm d'épaisseur
 - → pendage géologique N111E, 7°NE

- **Minéralogie des argiles**
 - Majoritairement des smectites (argiles gonflantes) ~50 % vol.
 - Illite (25-30 %)
 - Chlorite (10-20 %)

Résultats des observations géologiques, des analyses minéralogiques et des diagraphies

- Minéralogie des sulfates (indissociables à l'œil nu)
 - Minéraux sulfatés : anhydrite (CaSO_4), gypse ($\text{CaSO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$) et bassanite ($\text{CaSO}_4, 0,5 \text{H}_2\text{O}$) – Phase intermédiaire instable

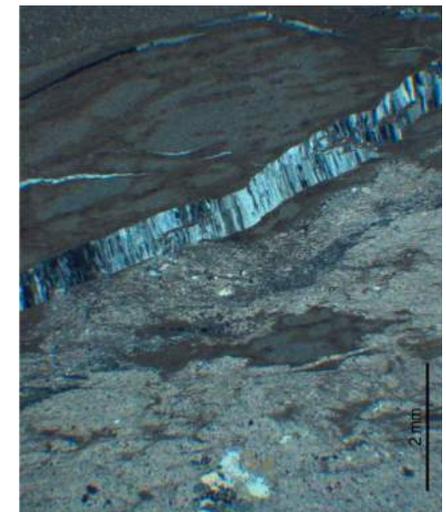
Environ 50 % dans la zone intègre



Gypse toujours secondaire

Sulfates présents sous formes de lamines ou de nodules, ou en remplissage de fractures

- Silts (très fines particules de quartz)
- Dolomite, calcite, et magnésite : carbonates qui



Résultats des observations géologiques, des analyses minéralogiques et des diagraphies

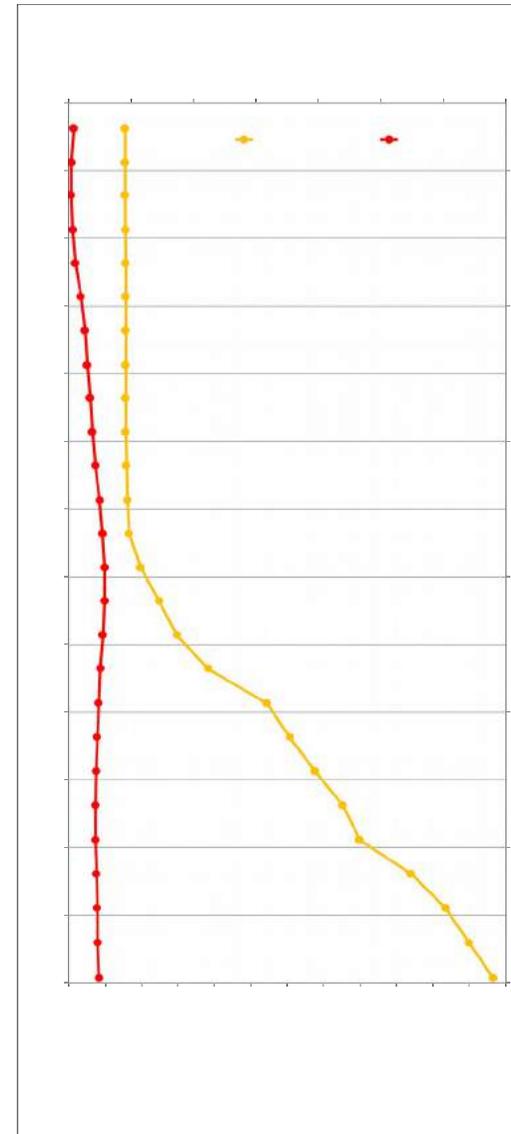
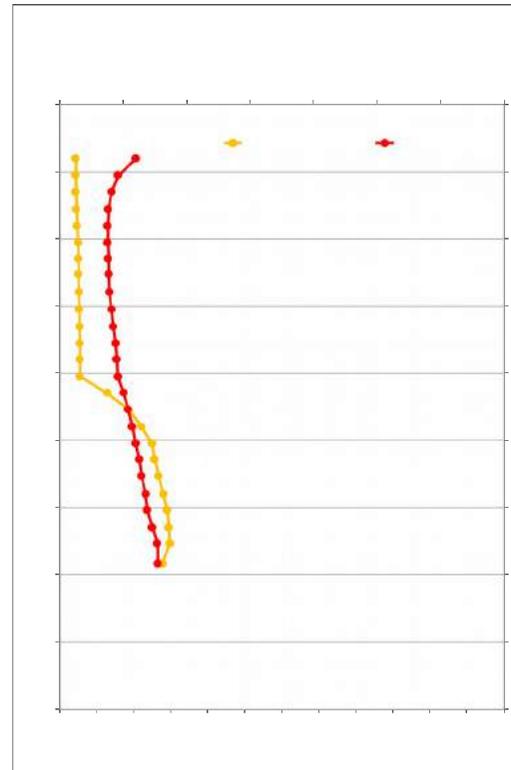
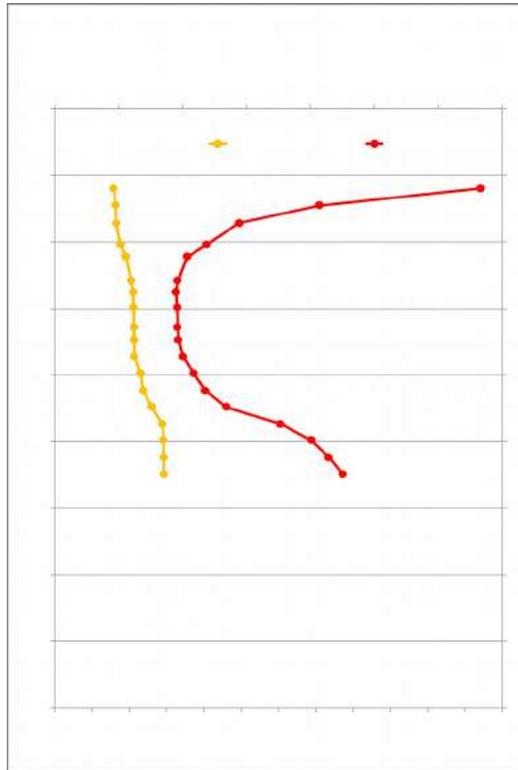
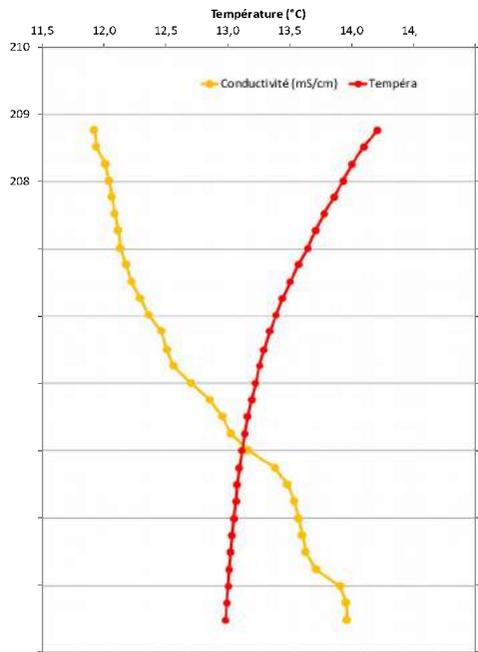
- **Forage SC4** : bassanite et gypse sont majoritaires. La bassanite est davantage présente en fond de forage, l'anhydrite reste minoritaire
- **Forage SC5** : gypse majoritaire. Transformations minéralogiques relativement avancées. Anhydrite présente en fond de forage
- **Forage SC6** : bassanite largement majoritaire là où l'aquifère est présent. Anhydrite dans le fond du forage. Gonflement à attendre de la bassanite vers le gypse
- **Forage SC7** : anhydrite prépondérante dans le fond, mais bassanite majoritaire quelques mètres plus bas. Gonflement initié ?

- Le banc repère rose est composé de gypse dans SC5, et majoritairement d'anhydrite avec une faible part de bassanite dans SC6 et SC7. Il a disparu dans SC4 → Cavités résiduelles ? Profondeur théorique ~ 9 m

Profils de température des eaux souterraines

SC5 SC6-2 SC7

Profil de conductivité / température Forage SC



Localisation du gonflement

- D'après les analyses minéralogiques, les observations d'humidité des terrains des carottes, les mesures de teneur en eau « naturelle », et les profils de température

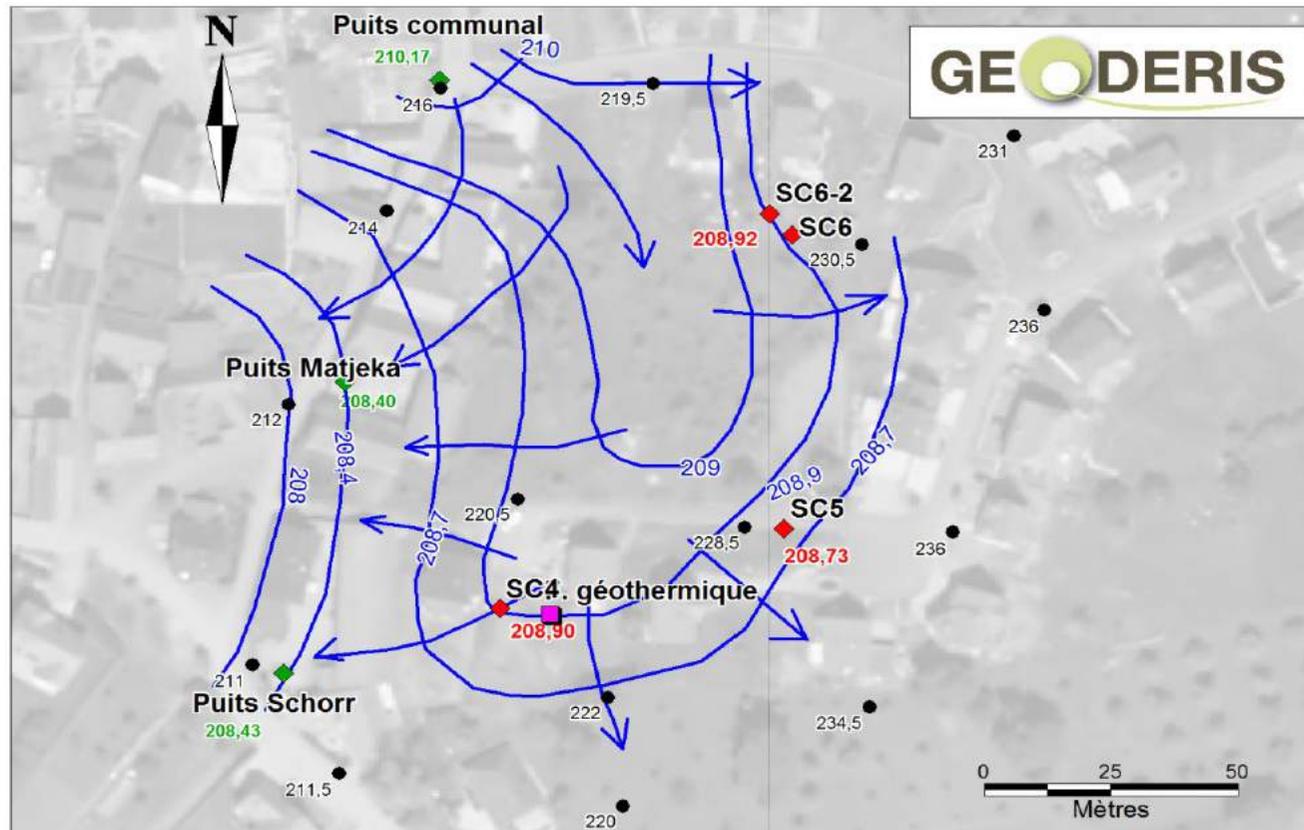
Forages	Altitude	Profondeur
SC4	198-209 m NGF	11 à 22 m
SC5	203-211 m NGF	19 à 27 m
SC6	203-211 m NGF	14 à 22 m
SC7	201-205 m NGF	38 à 42 m

Rappel de l'apparition du phénomène

1. Situation à l'état initial :
 - Aquifère « historique » en place dans la zone altérée, ruissellement de sub-surface drainé en pied de versant vers les alluvions du Dachsgraben et la zone altérée de la vallée
 - Terrains sous-jacents secs, dans la zone intègre
 2. Réalisation du forage géothermique, arrivées d'eaux dans la zone intègre qui était sèche
 3. Ecoulements sur la propriété Schorr (via le banc rose dissous ?)
 4. Gonflement de l'anhydrite présente → déstructuration des terrains, apparition de fissures, décollement des lamines marneuses → forte augmentation de la perméabilité des terrains, auto-entretenant le phénomène, d'où sa propagation
 5. Surrection des sols, apparitions de fissures/crevasses jusqu'en surface
 6. Ruptures répétées des canalisations
-   → Infiltration facilitée de l'eau de pluie et constitution d'un aquifère « actuel » situé sous l'ancien aquifère « historique »

Hydrogéologie

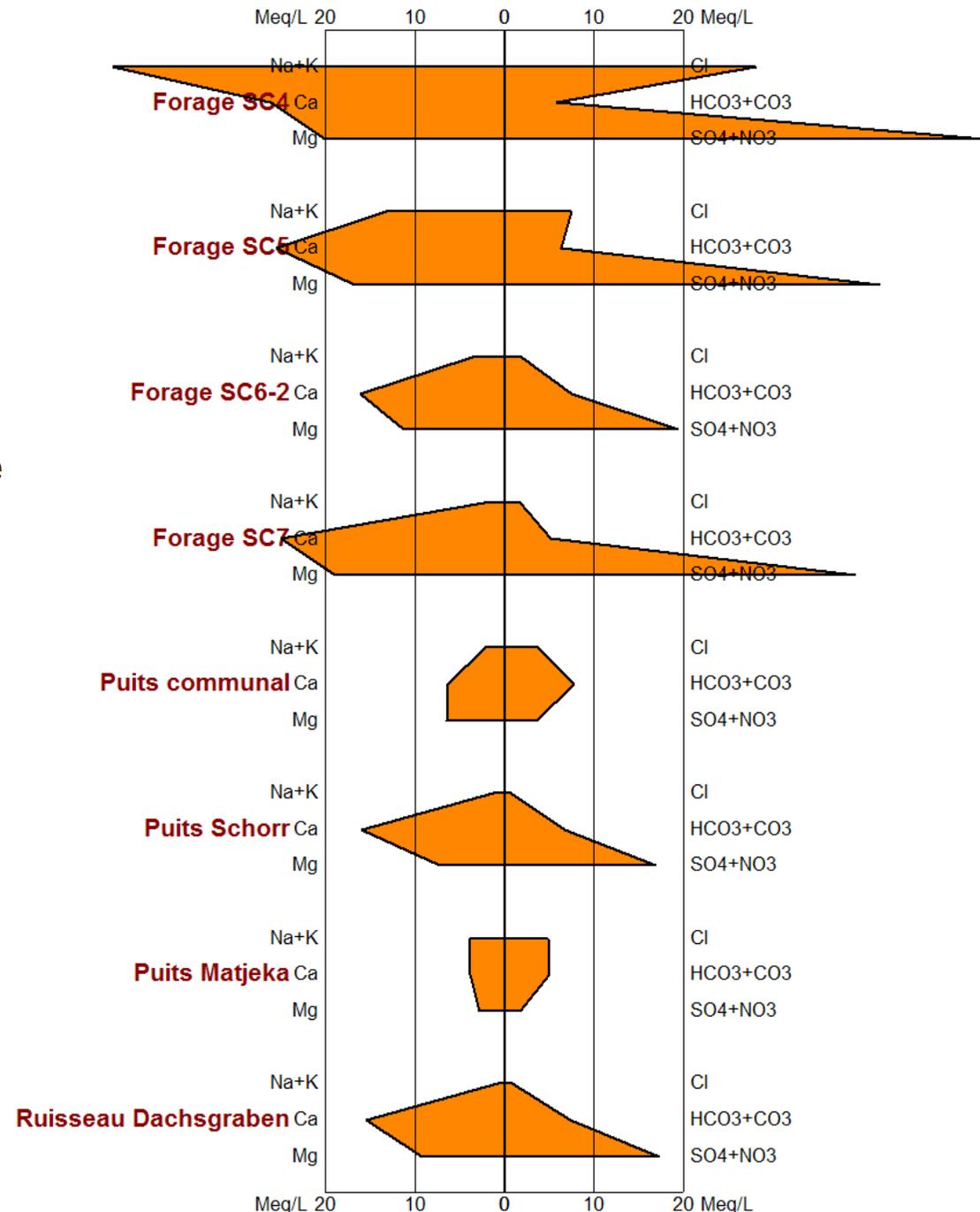
- Les puits privés captent les terrains du Keuper (cf. carottages FONDASOL 2011 et 2013)
- Esquisse piézométrique unique pour la zone des forages / la zone des puits privés



- Dénoyage très rapide des piézomètres SC4 et SC6-2, excellente réalimentation des piézomètres SC5 et SC7 → caractère imperméable des terrains, perméabilité de fractures

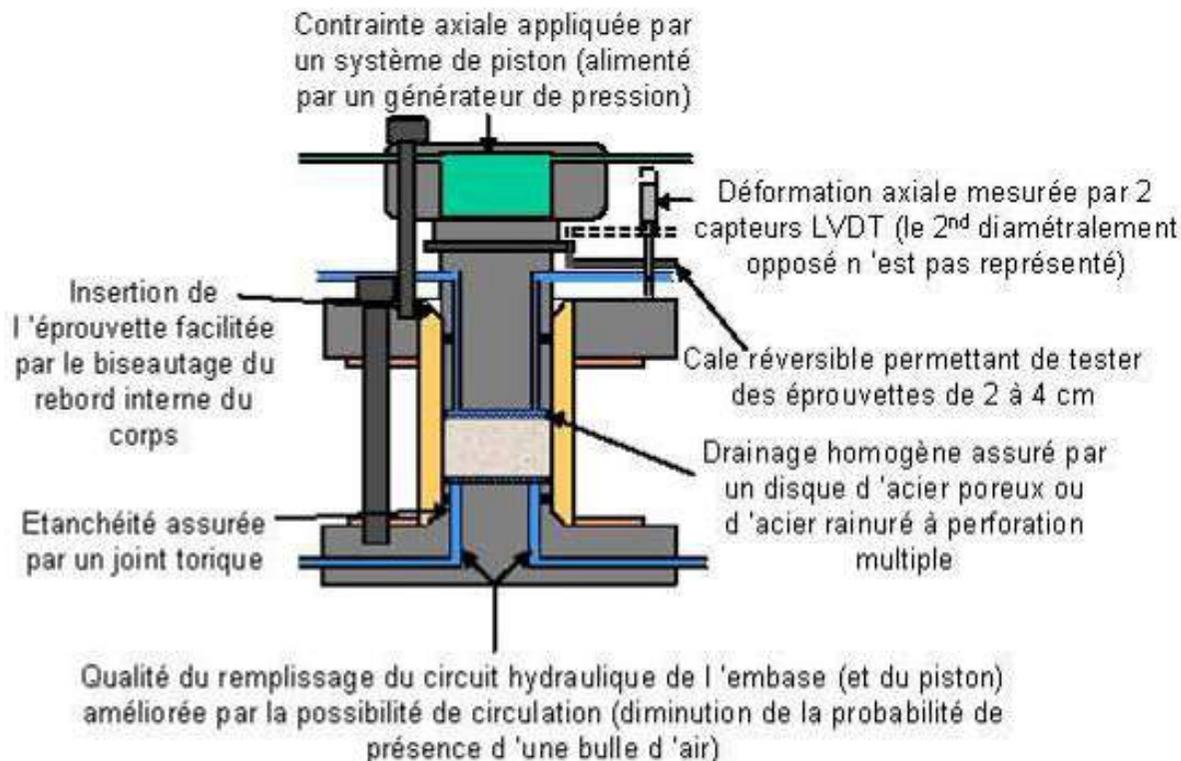
Hydrochimie

- Diagramme de Schöller-Berkaloff
- SC4, SC5, SC6-2, SC7 et puits Schorr : eaux très minéralisées, à faciès sulfaté, calcique, magnésien (dissolution des évaporites)
- SC4, et dans une moindre mesure SC5 : faciès supplémentaire chloruré sodique (influence des eaux minéralisées issues du forage géothermique fuyard)
- Puits Schorr : faciès intermédiaire entre piézomètres et autres puits privés
- SC6-2 : eaux moins concentrées → dilution par apport d'eaux de la zone altérée du nord
- Ruisseau : faciès très sulfaté / calcique
- Datation des eaux : mélanges eaux anciennes et récentes

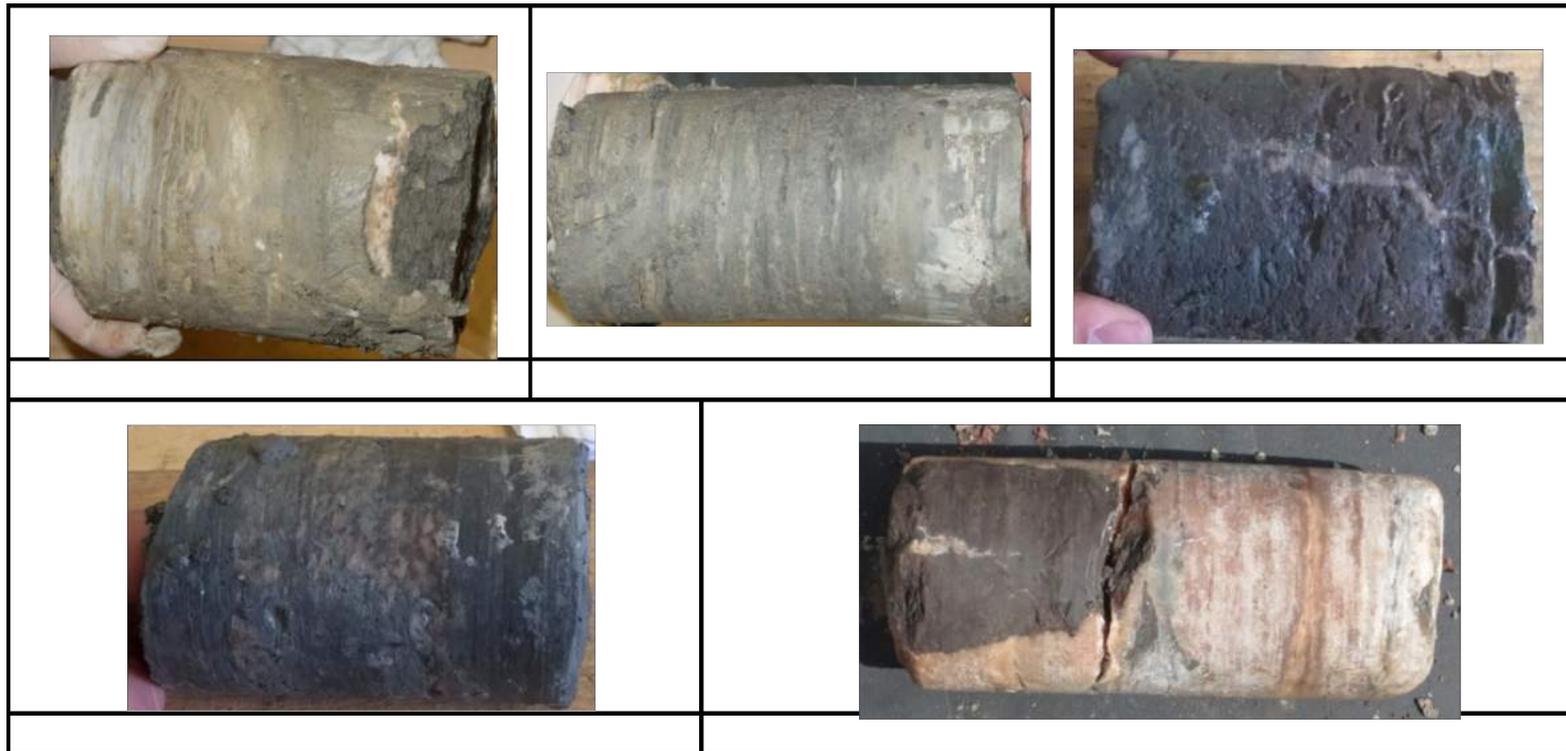


Caractérisation du gonflement

- Les analyses géotechniques ont permis de caractériser les terrains de Lochwiller (du point de vue des argiles) comme à comportement peu plastiques, à potentiel de gonflement moyen
- Le comportement gonflant des terrains (argiles + évaporites) est en cours d'évaluation au laboratoire Géoressources à Nancy par des essais œdométriques



Caractérisation du gonflement



- Essais sur SC4-7, SC4-20, SC7-16 lancés en août 2015
- Essais sur SC5-18 et SC6-17 lancés en novembre 2015 (délai de construction de deux œdomètres supplémentaires)

Caractérisation du gonflement

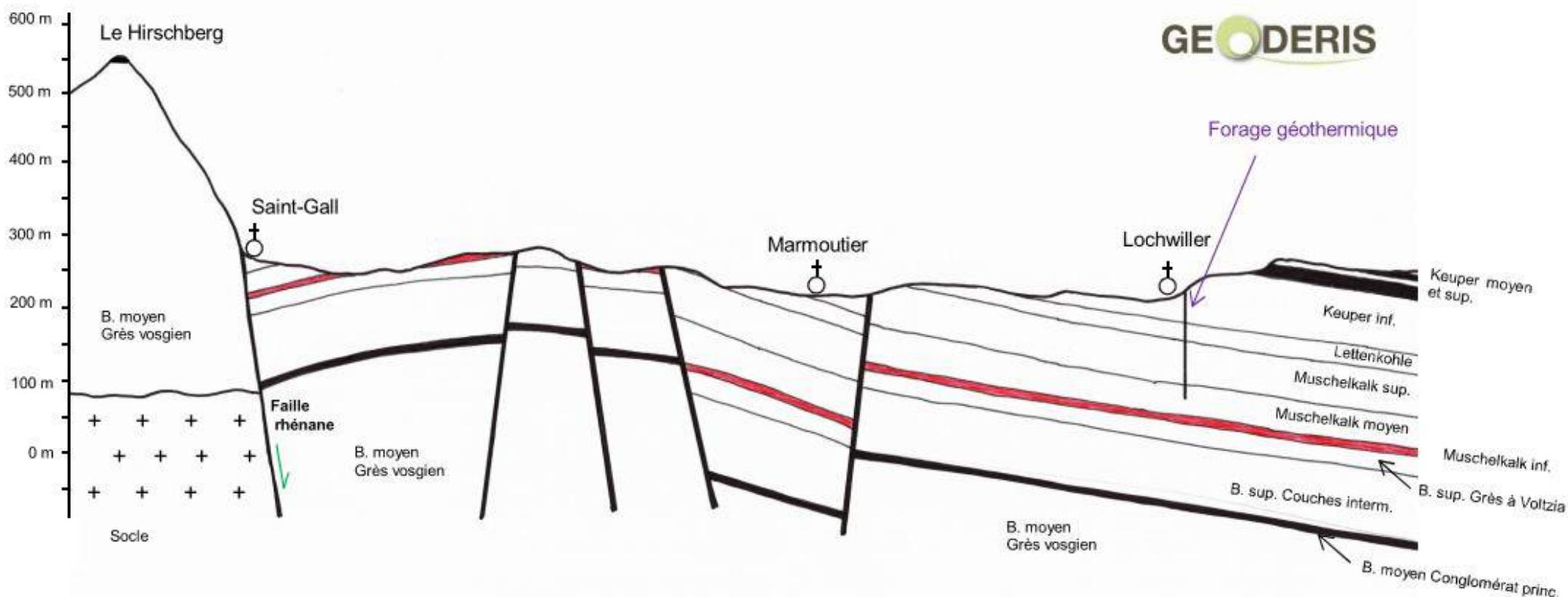
- Résultats partiels obtenus à fin janvier 2016
 - **SC4-20** n'a pas montré de gonflement (31 % gypse / 0,9 % anhydrite / 2 % smectites)
 - Gonflement (initié vers le 50^{ème} jour) de 0,46 % de l'échantillon **SC4-7**. Il s'est stabilisé au 90^{ème} jour
 - 30 % de gonflement théorique étaient attendus au regard de sa composition (25 % A, 30 % B, 5 % G), soit environ 4,6 % en essai œdométrique.
 - Un gonflement (initié vers le 80^{ème} jour) de 0,13 % de l'échantillon **SC7-16** a été mis en évidence, il a cessé après 110 jours.
 - Les analyses minéralogiques finales n'ont pas encore été réceptionnées, mais il est fortement probable qu'une faible partie des évaporites ait gonflé.
 - Colmatage de la porosité par du gypse ?
 - Des contraintes de 1,40 – 1,50 MPa ont été nécessaires pour leur faire retrouver leur volume initial. Ce sont des potentiels de gonflement.
 - Met en évidence que le poids des terrains de recouvrement n'est pas suffisant pour lutter contre ces pressions, d'où la surrection des terrains.
 - Les essais SC5-18 et SC6-17 sont toujours en cours de gonflement (initiés à 30 jours et 35 jours respectivement)

Poursuite de la surrection des sols

- Extrapolation possible du gonflement résiduel de ces échantillons, en termes de cinétique et de déplacement axial, en connaissant la part d'évaporites qui a gonflé.
- A ce jour, les essais en laboratoire ne permettent pas d'appréhender la complexité du phénomène et du site en particulier. Ils doivent être poursuivis.
- Transformations minéralogiques bien avancées sur SC4 et SC5, ce qui laisserait penser que la fin de la surrection est proche.
- Sur SC6 et SC7, persistance d'une quantité importante de bassanite, la surrection pourrait être plus longue sur ces secteurs.
- Impact de la dissolution du gypse non appréhendé, pour le moment, par les essais de gonflement → absence d'évaluation chiffrée de la surrection restante car elle serait surestimée

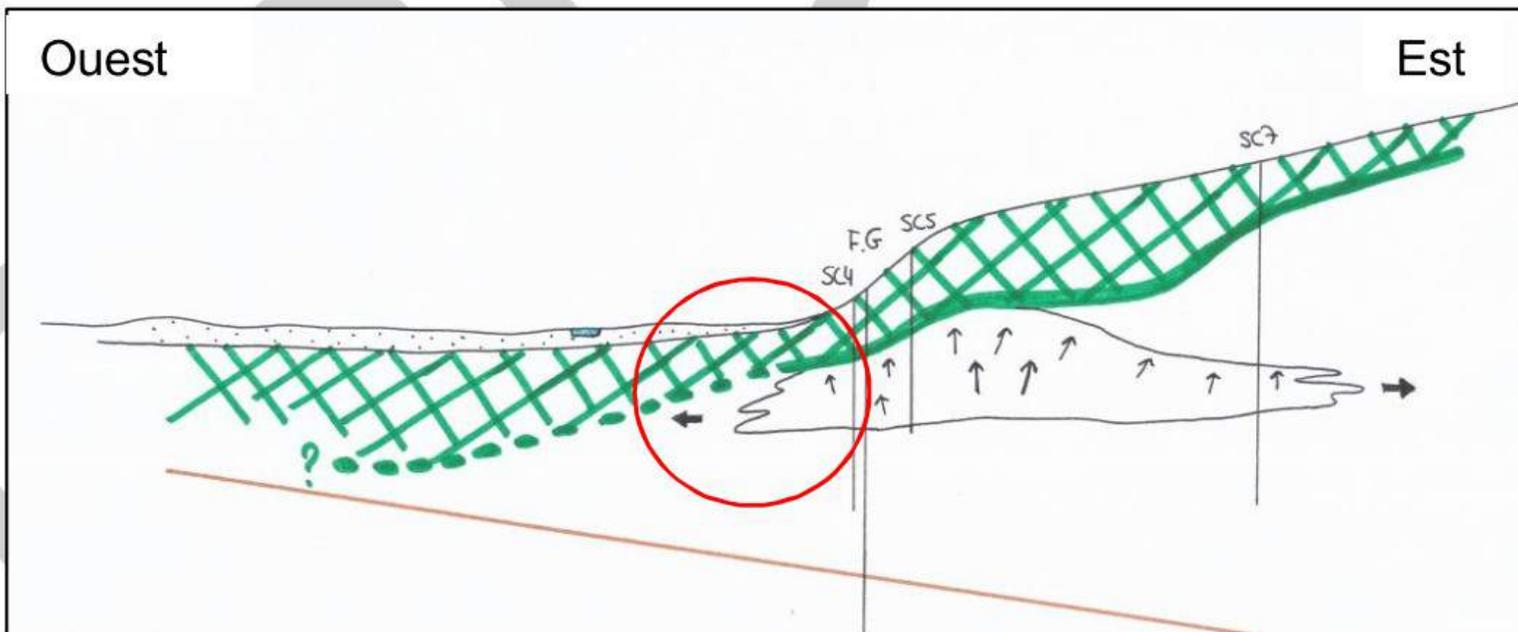
Caractérisation du gonflement

- Extension du phénomène : les couches sont très peu inclinées (environ 7°) et s'étendent sous la totalité du village
- Auto-entretien du phénomène, car il provoque la déstructuration des terrains, ce qui augmente leur perméabilité à l'eau et propage les transformations minéralogiques
- Extension spatiale à attendre



Caractérisation du gonflement

- Nécessité de reconnaissance (par forages) de l'épaisseur de la zone altérée au droit du village, car elle pourrait bloquer l'extension du gonflement
- Schéma de principe :



Constitution d'un comité d'experts international

- Devant la complexité du phénomène à étudier et les incertitudes dans les résultats fournis par les essais œdométriques, appel à des spécialistes de l'anhydrite
- Il sera attendu de leur part :
 - Une tierce expertise du rapport GEODERIS
 - Eventuellement des propositions et/ou des compléments de développement ou retour d'expérience quant à l'évaluation de la surrection attendue
 - Verticalement
 - Latéralement
 - Est-il possible de prévoir la vitesse de dissolution du gypse par rapport au gonflement de l'anhydrite ?
 - Une réflexion quant à la possibilité de dimensionner des moyens de remédiation, basée sur les connaissances apportées par les forages prévus en 2016 sur l'emprise du village