

Etude du phénomène de gonflement d'anhydrite à Lochwiller

5 juillet 2016



- Contexte
- Objectifs
- Historique des phénomènes
- Investigations réalisées
- Présentation des résultats obtenus et de leur interprétation
 - Géologie et minéralogie – Degrés de transformation des évaporites
 - Caractéristiques des eaux souterraines :
 - Localisation du gonflement
 - Caractéristiques géotechniques des terrains
 - Prévisions de surrection
- Conclusions et expertise au vu de la complexité du problème et de l'importance des enjeux (Dr-Ing. Erich Pimentel, ETH Zürich)
- Recommandations : acquisition de données et dimensionnement de solutions possibles

Contexte



- Cas de gonflement des terrains au droit et au pied d'une colline
- Cause : forage géothermique qui a mis en communication une nappe d'eau captive profonde avec des couches d'argiles à anhydrite situées sous un lotissement
- Conséquences :
 - une trentaine de maisons affectées par des désordres (fissures, inclinaisons)
 - Déstructuration des chaussées, ruptures de canalisations, etc.
- Missions de GEODERIS :
 - Avis sur l'origine fin 2013
 - Etude de caractérisation du gonflement afin de prévoir son évolution dans l'espace et dans le temps, et proposer des solutions

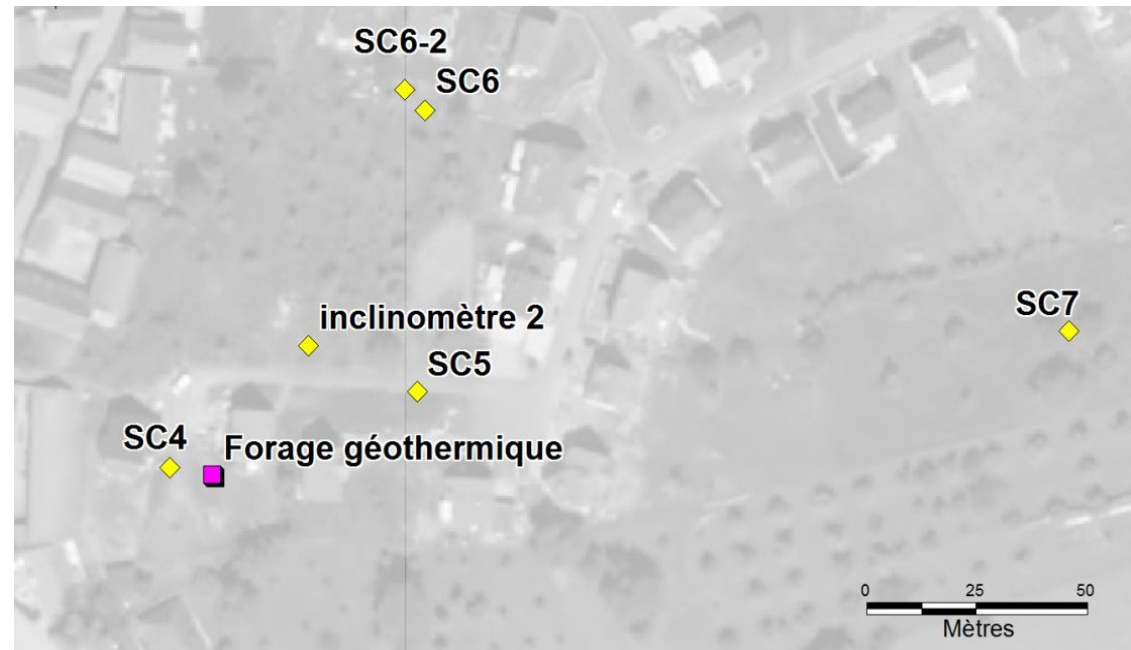
Objectifs de l'étude

Reconnaissance de l'état de transformation de l'anhydrite dans le sous-sol

- 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) pour tenter d'évaluer les temps caractéristiques de la poursuite du phénomène

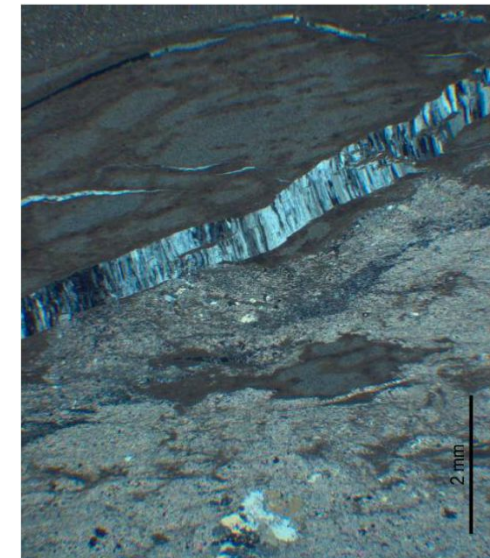
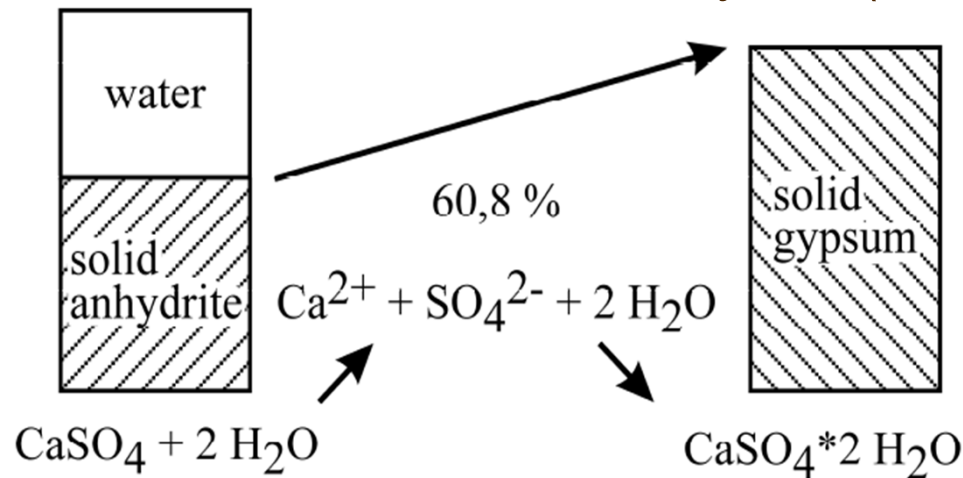
Investigations réalisées

- Réalisation de 5 forages équipés en piézomètres
 - Description géologique 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
 - Réalisation de profils de conductivité électrique et de température des eaux souterraines



Résultats des observations géologiques, des analyses minéralogiques et des diagraphies

- Minéralogie des sulfates (indissociables à l'œil nu)
 - Minéraux sulfatés : anhydrite (CaSO_4) et gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)



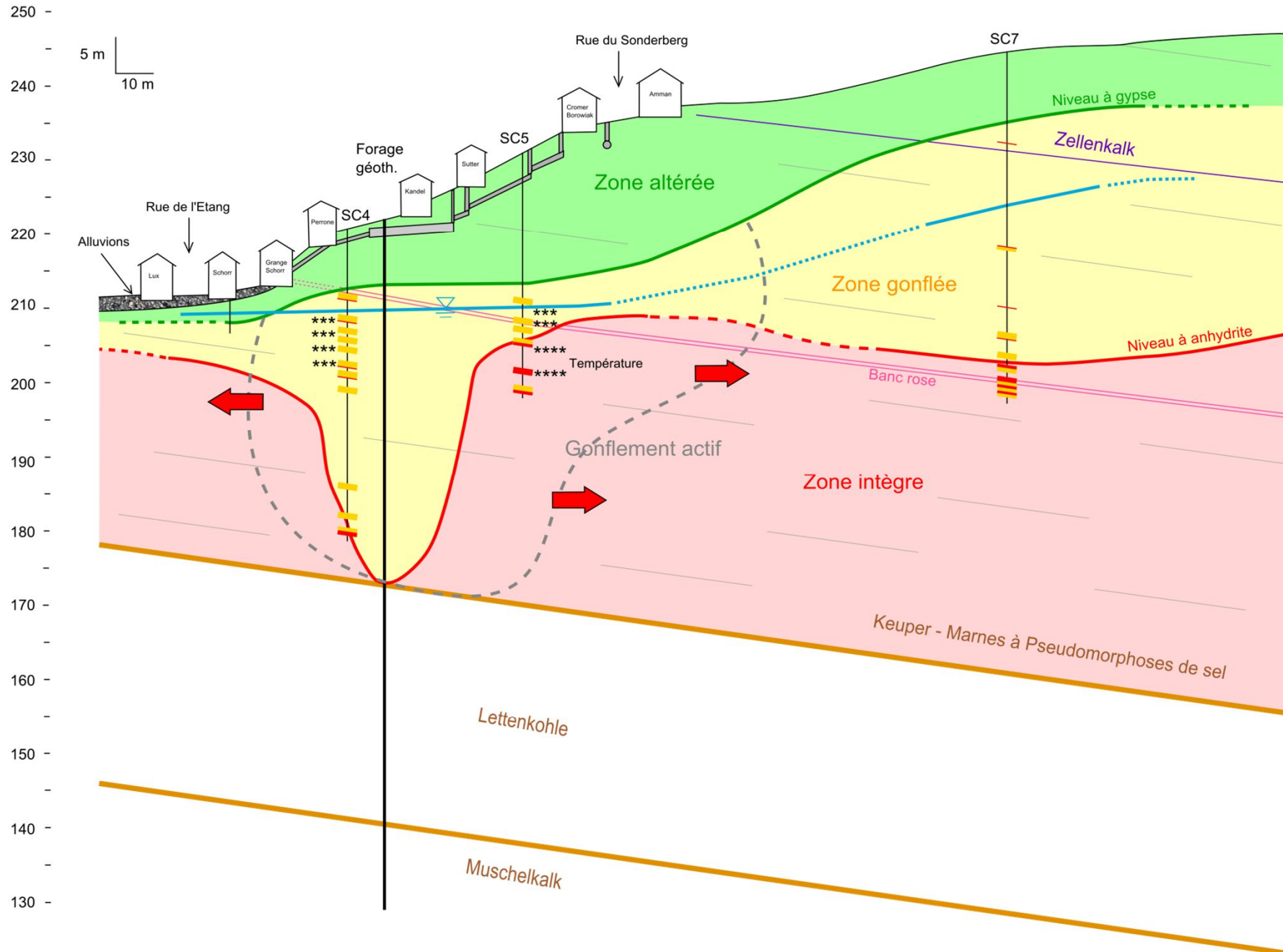
Sulfates présents sous formes de lamines ou de nodules, ou en remplissage de fractures

Résultats des observations géologiques, des analyses minéralogiques et des diagraphies

- Présence d'une zone altérée / d'une zone gonflée / d'une zone intègre
 - Quasi-absence d'évaporites sur les premiers mètres sous la surface
 - Apparition brutale des évaporites entre 10 et 20 m de profondeur
 - 1 % en moyenne d'évaporites dans la zone altérée et 53 % en moyenne d'évaporites dans la zone gonflée et la zone intègre
- Nature des argiles : smectites (argiles gonflantes) pour la moitié de la fraction argileuse



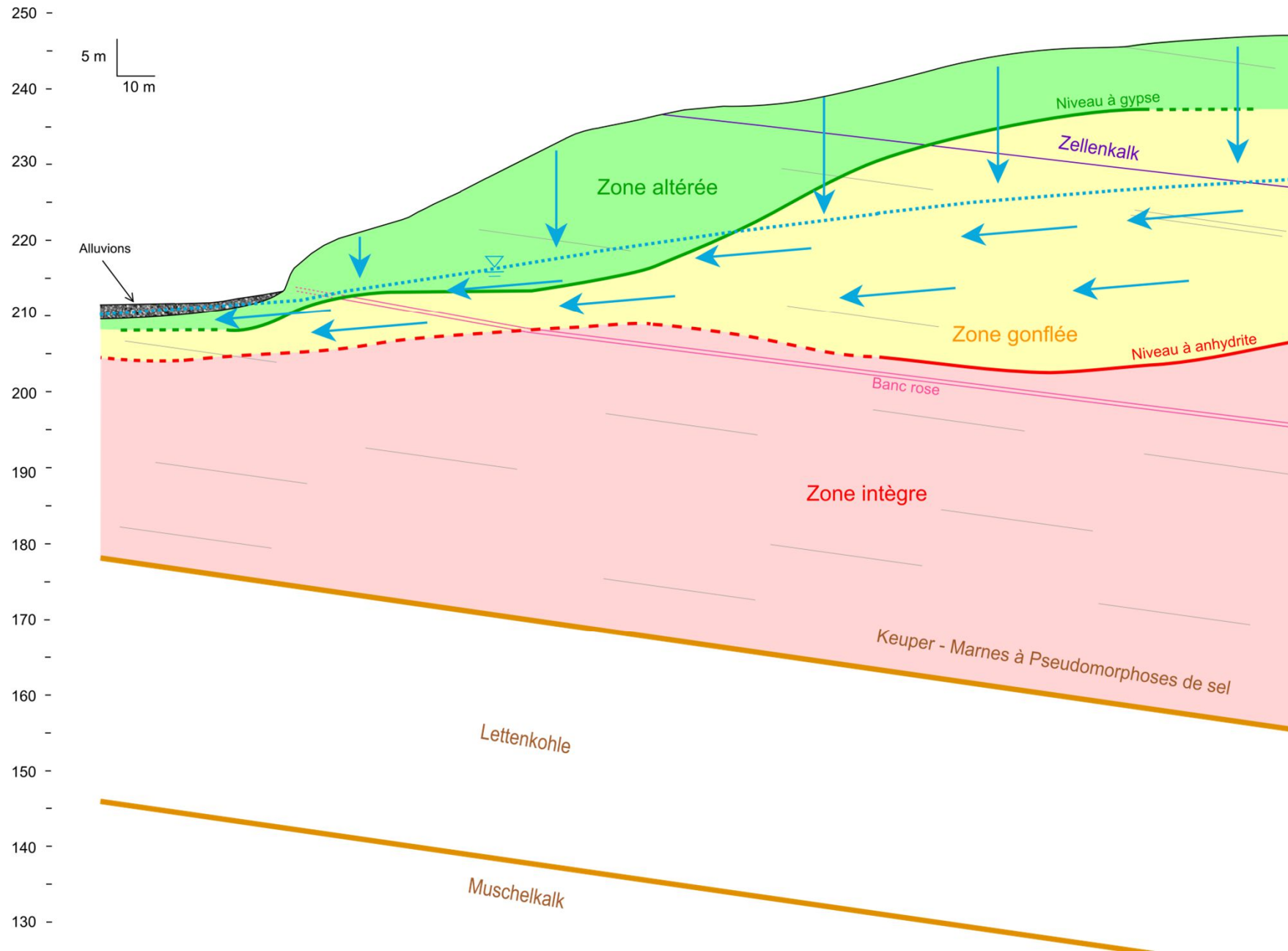
Historique des évènements



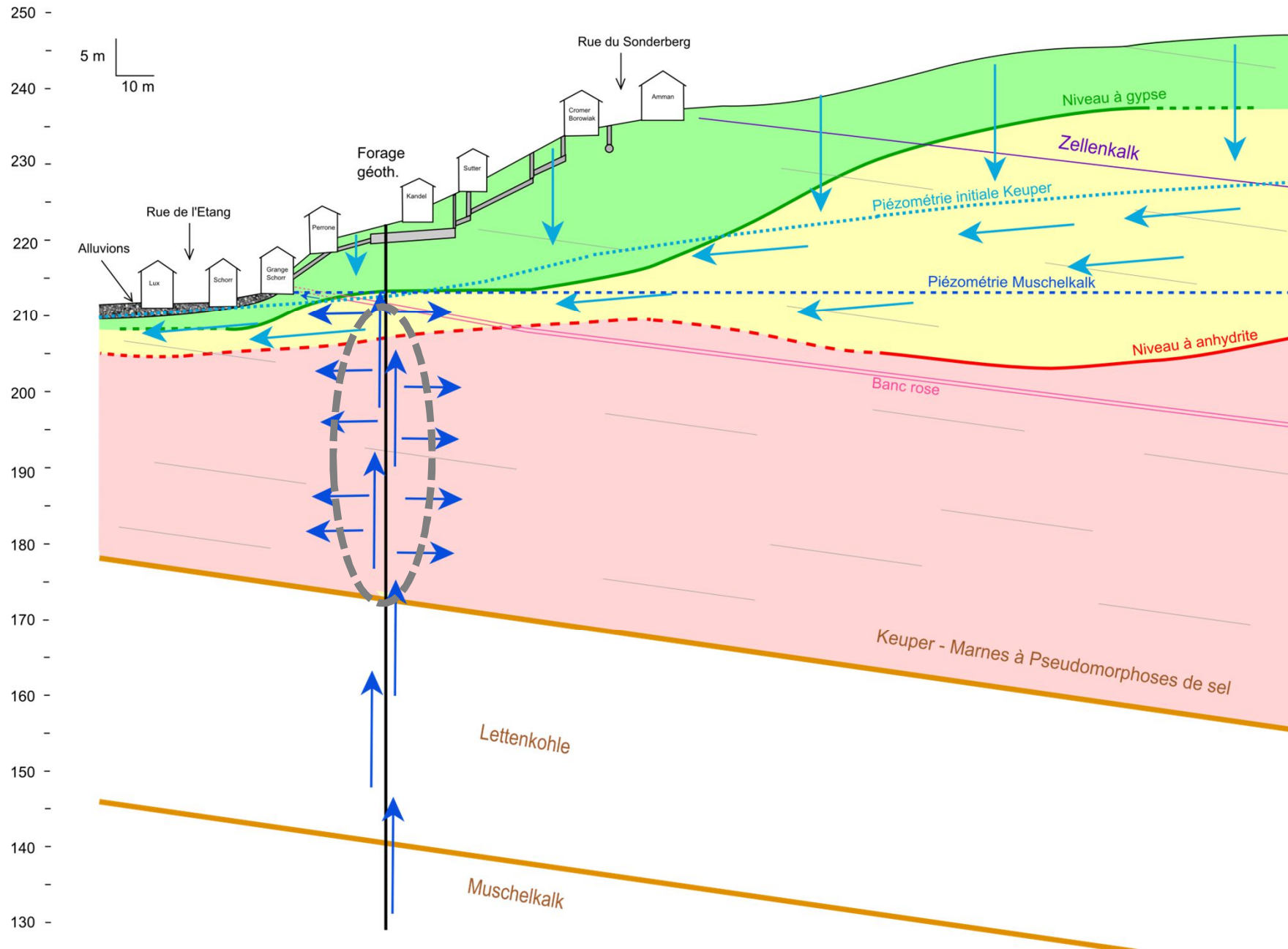
Profils de température des eaux souterraines

- En dehors du périmètre de gonflement : 11,2 à 11,8°C, gradient géothermique normal
- À l'épicentre du gonflement : stable autour de 13,5°C dans la zone gonflée, et accroissement jusqu'à 16°C dans la zone intègre
- A proximité du forage géothermique, dans la zone gonflée : 13,1 à 13,6°C
- Dans le front d'avancée du gonflement : 12 à 12,4°C, zone gonflée puis zone intègre
- → localisation du gonflement actif

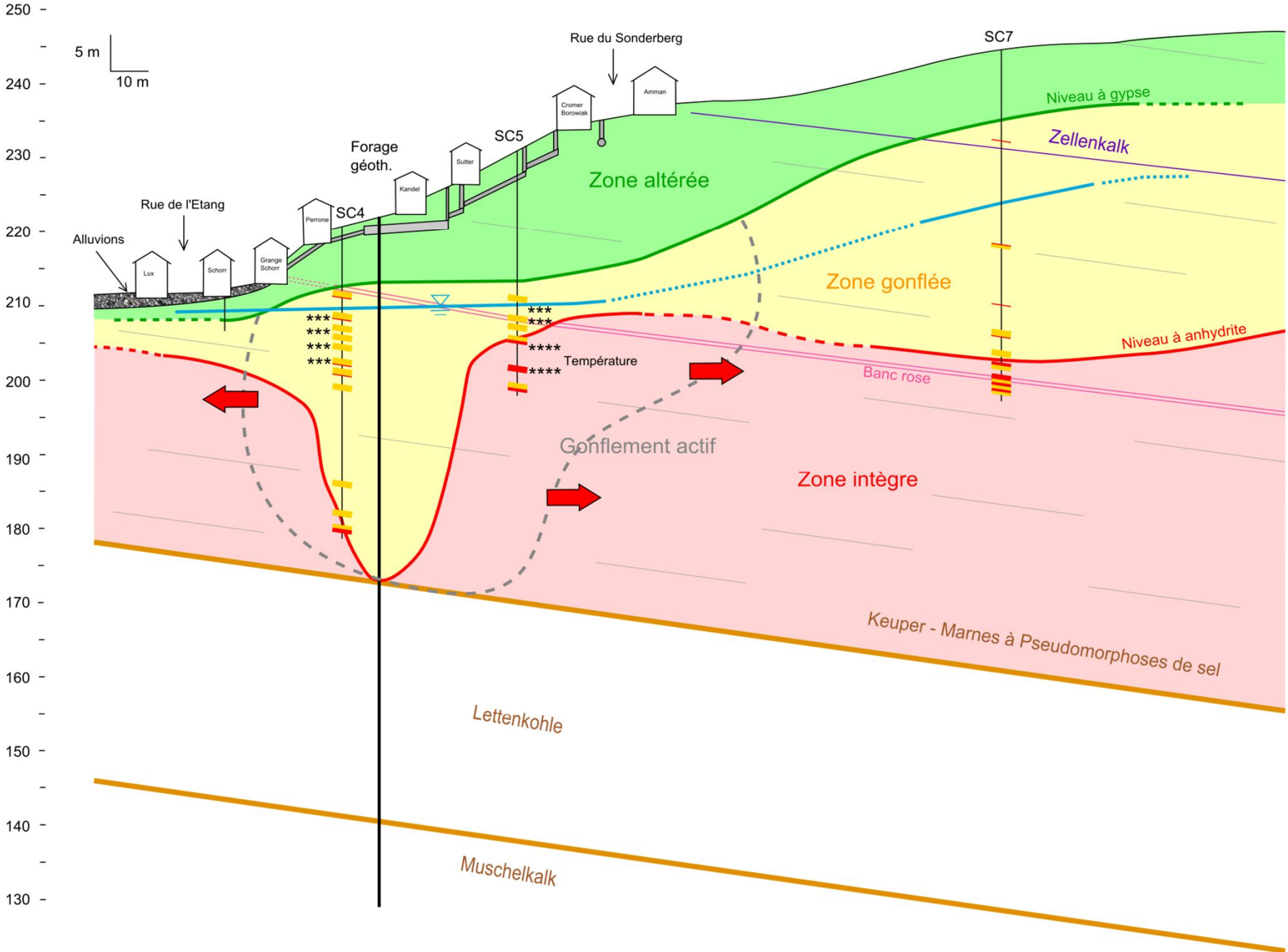
Chronologie du phénomène



Chronologie du phénomène

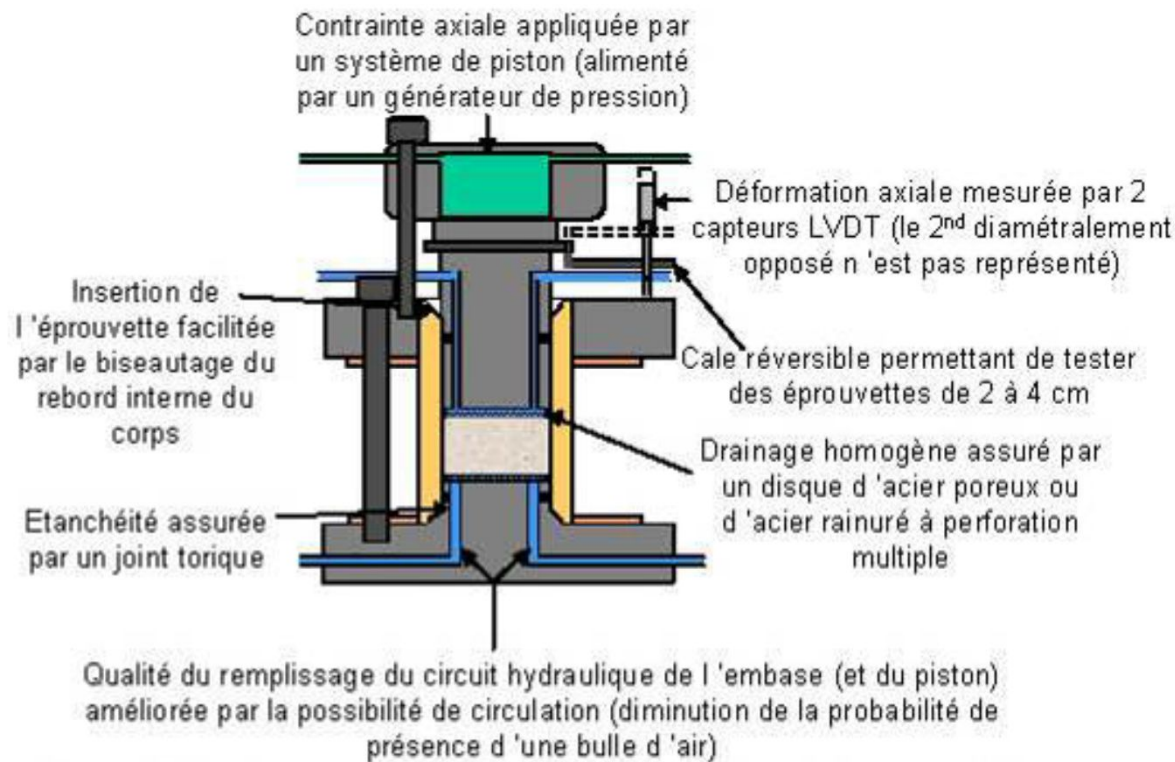


Chronologie du phénomène



Caractérisation du gonflement

- Le comportement gonflant des terrains (argiles + évaporites) a été évalué au laboratoire Géoressources à Nancy par des essais œdométriques

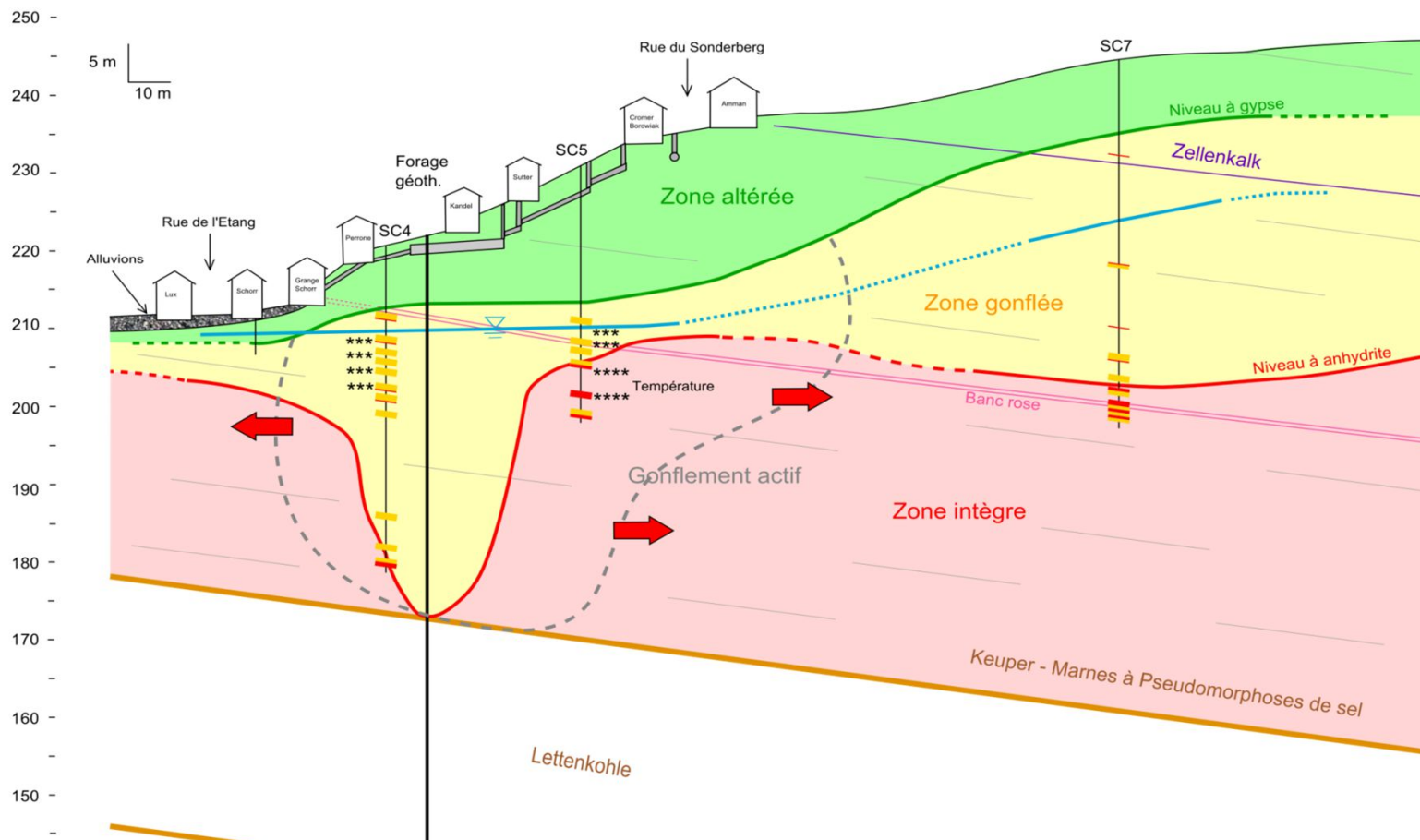


Caractérisation du gonflement

- Résultats obtenus
 - Gonflement stabilisé au bout de 70-80 jours environ mais une faible partie des évaporites a gonflé → Colmatage de la porosité par du gypse ?
 - Potentiels de gonflement mesurés : 1,13 – 1,50 MPa → 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
 - Du point de vue cinétique et amplitude de gonflement, il n'est pas possible d'extrapoler les essais en laboratoire à l'échelle du milieu rocheux car :
 - Milieu rocheux hétérogène
 - Formation de fissures (concept de « *cracking* » introduit par Pimentel)
 - Evolution des conditions de circulation et de la chimie des eaux souterraines
 - De même, il n'est pas possible de prévoir les effets de moyens d'atténuation
 - L'expert a envisagé une composante de glissement de terrain supplémentaire qui demande à être vérifiée

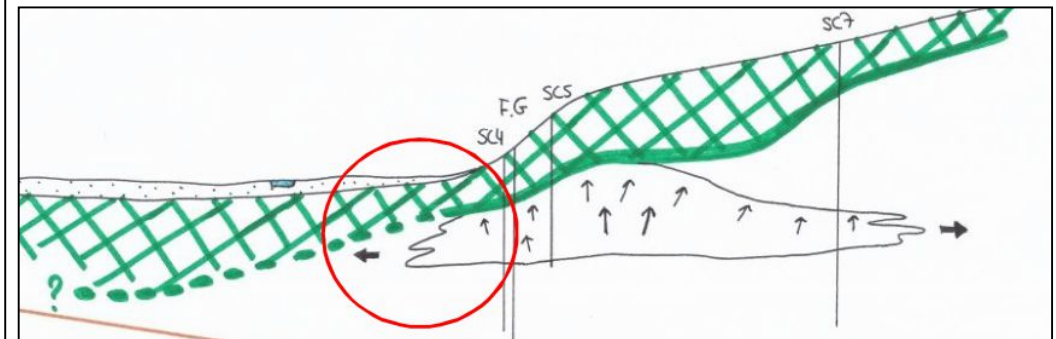
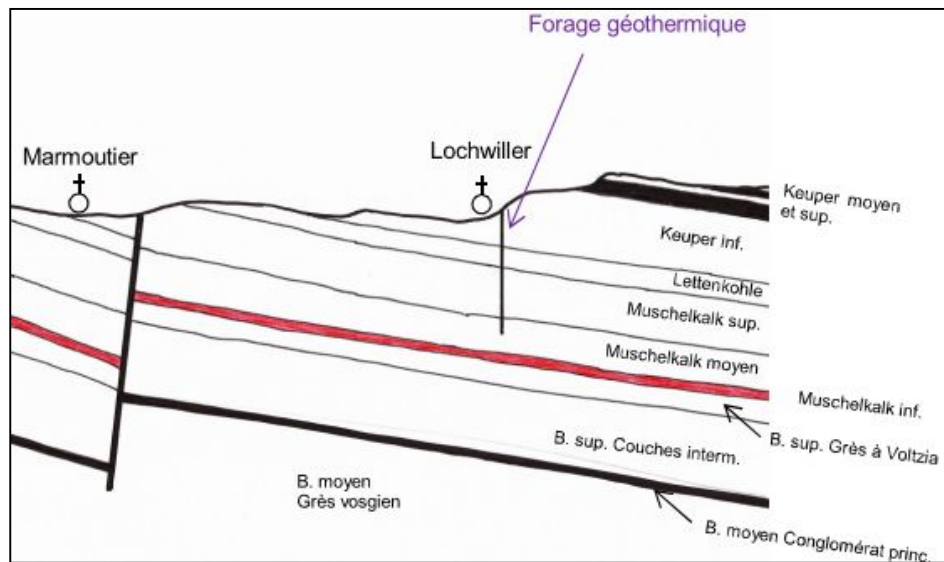
Poursuite de la surrection des sols

- Dans la zone gonflée (en jaune), la surrection est quasiment achevée, de la dissolution du gypse peut se produire
- Le gonflement de l'anhydrite se poursuit dans la zone intègre (en rouge) et s'étend latéralement



Poursuite de la surrection des sols

- Les couches s'étendent sous la totalité de la superficie du village → sauf si zone altérée très épaisse (à vérifier), le gonflement va s'y propager car les transformations de l'anhydrite provoquent des micro-fissurations et donc des apports d'eau par augmentation de la perméabilité



- Arrêt du gonflement à envisager uniquement quand :
 - Potential de gonflement complètement épuisé (peut durer plusieurs dizaines d'années, affecter à terme tout le village qui devrait être démoli)
 - Aquifère non alimenté en eau, drainage de l'eau libre
 - le phénomène pourra être ralenti, mais non stoppé

Principales recommandations

- **Reboucher au plus tôt le forage géothermique fuyard (BRGM-DPSM) et empêcher l'infiltration des précipitations** (réparations canalisations, étanchement crevasses...)
- Mettre en place une **instrumentation** pour mieux caractériser les mouvements de terrain en profondeur (3 forages) : inclinomètres conjugués à micromètres
- **Suivre la piézométrie en continu** par instrumentation pour acquérir davantage d'informations sur le comportement de l'aquifère, en partie libre, en partie captif
- **Suivre la température des eaux** pour caractériser la localisation du gonflement dans le temps
- **Effectuer des forages de reconnaissance** de l'épaisseur de la zone altérée au droit de la partie historique de Lochwiller (l'absence d'anhydrite si elle est avérée, peut s'opposer à la propagation latérale du gonflement)
- **Mettre en place un drainage par pompage** si cela est possible (étude de faisabilité à réaliser), en fonction des caractéristiques de l'aquifère (apport des investigations recommandées ci-dessus)