



COMMISSION DE SUIVI ET D'INFORMATION  
PROJET DE GÉOTHERMIE PROFONDE - HAUTE-SORNE

# GÉOTHERMIE PROFONDE À HAUTE-SORNE



Commission de suivi et d'information (CSI)

28 octobre 2024

# ORDRE DU JOUR

*Invité : Clément Baujard, Es géothermie*

---

|  |            |
|--|------------|
| 1. Accueil et approbation de l'ordre du jour   | 5'         |
| 2. Adoption du procès-verbal de la séance du 12 septembre 2024   | 5'         |
| 3. Informations et débriefing de la séance du 12 septembre 2024  | 10'        |
| 4. Présentation des derniers résultats et calendrier du projet   | 20'        |
| 5. Procédure d'autorisation par le Canton  | 20'        |
| 6. Séance publique : présentation du programme   | 25'        |
| <i>Pause</i>   | <i>10'</i> |
| 7. Retour d'expérience de la sismicité induite observée en lien avec les sites de géothermie profonde du fossé du Rhin et état de l'art des méthodes de contrôle et prévention, du forage à l'exploitation au long cours | 40'        |
| 8. Divers  | 5'         |
| 9. Conclusion  |            |

***Fin de séance prévue à 19h05, suivie d'un apéritif.***

# **ACCUEIL ET APPROBATION DE L'ORDRE DU JOUR**



Pascal Mahon, président de la CSI

# **ADOPTION DU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 12 SEPTEMBRE 2024**



Pascal Mahon, président de la CSI

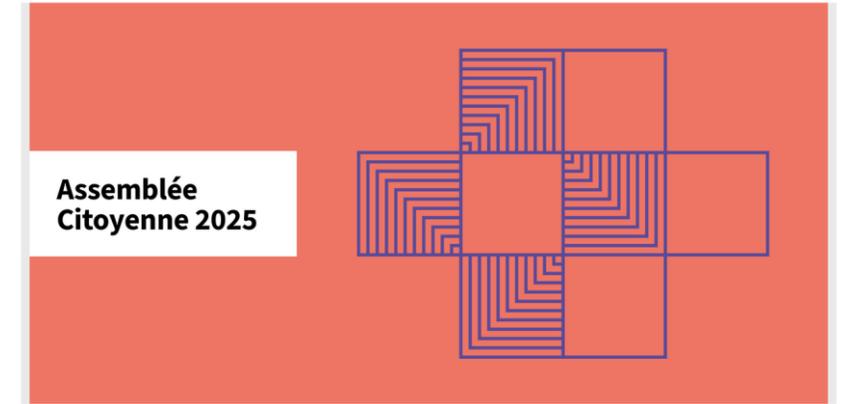
# **INFORMATIONS ET DÉBRIEFING DE LA SÉANCE DU 12 SEPTEMBRE 2024**



Pascal Mahon, président de la CSI

# INFORMATIONS

- Rencontre de M. Mahon avec le Gouvernement le 29.10
- Ateliers-citoyens : concept en cours de préparation
- Article « *Exploiter la chaleur géothermique de grande profondeur en toute sécurité* » mis en ligne sur le site
- Atelier de communication prévu avec Geothermie Suisse le 13 novembre 2024 en vue de développer un concept de communication visant à promouvoir cette source d'énergie
- Comité de patronage le 18.11.24
- Rencontre avec les habitants de Berlincourt le 09.12.24
- Des fiches d'informations sur de nombreux projets géothermiques en Suisse sont téléchargeables sur : <https://geothermie-schweiz.ch/fr/projekte/>
- Débit du Tabeillon  
 >> Août : 0.21 m<sup>3</sup>/s >> Septembre : 0.20 m<sup>3</sup>/s >> Octobre (01.10-22.10) : 0.56 m<sup>3</sup>/s



## EXPLOITER LA CHALEUR EN TOUTE SÉCURITÉ

Les températures élevées régnant dans les grandes profondeurs de la terre présentent un grand potentiel pour la fourniture d'électricité et de chaleur. Après quelques revers, l'espoir renaît aujourd'hui de pouvoir exploiter le potentiel de la géothermie profonde pour un approvisionnement énergétique durable. En effet, de nouveaux outils de surveillance et de prévision permettent aujourd'hui une meilleure évaluation et un contrôle plus fiable du risque sismique. C'est ce que montre le projet de recherche international auquel l'ETH de Zurich et la société Geo-Energie Suisse SA ont également participé.

Site de forage du projet géothermique de Haute-Sorne. Photo: Geo-Energie Suisse SA.

Article spécialisé concernant les conclusions acquises lors d'un projet de recherche dans le domaine de la géologie souterraine financé par l'Office fédéral de l'énergie. L'article a été publié, entre autres, dans le magazine spécialisé Energie renouvelables (juin 2016).

## Projet de géothermie profonde à Haute-Sorne

Électricité et chaleur grâce à un forage de 5'000 m

Plus de 20 GW/h d'électricité par an pour 6'000 ménages.

Le développement fiable de la géothermie profonde pour la production d'électricité et de chaleur fait l'objet de travaux dans le monde entier. Avec le concept de stimulation en plusieurs étapes, Geo-Energie Suisse a trouvé un nouveau procédé innovant pour créer un réservoir géothermique dans le substratum rocheux, indépendamment de l'empilement et sans avoir besoin de débit naturel d'eau chaude. La méthode réduit considérablement le risque de tremblements de terre. En 2021, la preuve technique de faisabilité a été réalisée. Aujourd'hui, la première usine en Suisse va être construite dans la commune jurassienne de Haute-Sorne. Dès 2015, le canton du Jura a approuvé le plan d'affectation spécial pour le projet pilote de géothermie profonde, plan confirmé par le Tribunal fédéral en 2018. Début 2022, une nouvelle convention a été signée entre le canton du Jura et Geo-Energie Suisse. Selon la planification actuelle, l'usine devrait être mise en service d'ici à la fin de la décennie.

| Faits et chiffres                       |  |
|---|--|
| Non                                     | Géothermie profonde Haute-Sorne                            |
| Propriétaire                            | Geo-Energie Jura SA / Geo-Energie Suisse AG                |
| Système géothermique                    | Pétrothermale  |
| Profondeur forage                       | 4'000-5'000 m  |
| Température forage                      | > 140 °C   |
| Usage de la géothermie                  | Électricité et chaleur                                     |
| Puissance géothermique                  | max. 3 MW électrique (permis) / 2-3 MW électrique (projet) |
| Énergie géothermique                    | > 20 GWh/an (à 2.5 MW, en 6'000 mètres)                    |
| Économie de matière                     | 0%   |
| Économie d'émissions de CO <sub>2</sub> | > 37'000 tonnes/an   |
| Année de mise en service (projet) 2029  |  |
| Coût d'investissement                   | > CHF 120 millions   |

# **PRÉSENTATION DES DERNIERS RÉSULTATS ET CALENDRIER DU PROJET**



Olivier Zingg, directeur Geo-Energie Jura

# Le projet de géothermie de Haute-Sorne

Séance de la Commission de Suivi et d'Information (CSI)  
28 octobre 2024, Bassecourt

Olivier Zingg, Directeur Geo-Energie Jura SA  
Fabien Christe, Geo-Energie Suisse AG

# Suivi environnemental – Bruit (1)

- ❑ Campagne de mesure au début du forage de la 3<sup>ème</sup> section (les 24 et 25 juin) afin de caractériser la période centrale du forage, dans les couches profondes. Conclusions de la campagne de mesures (CSD):
  - L'interprétation des résultats et des données à disposition montre que les valeurs limites d'immission (VLI) de l'OPB (55 dBA de nuit pour le DS III) sont clairement respectées au niveau des habitations des villages environnants, avec une marge importante et une confiance élevée. Les niveaux d'évaluation Lr y sont dans tous les cas inférieurs à 48 dB(A).
  - Comme attendu, selon ce qu'indiquait déjà le modèle théorique, la situation la plus critique se situe au niveau de la ferme des Croisées. Pour ce point, l'évaluation montre que la VLI de 55 dBA est également respectée dans les conditions de forage actuelles, avec une marge de plus de 5 dBA.

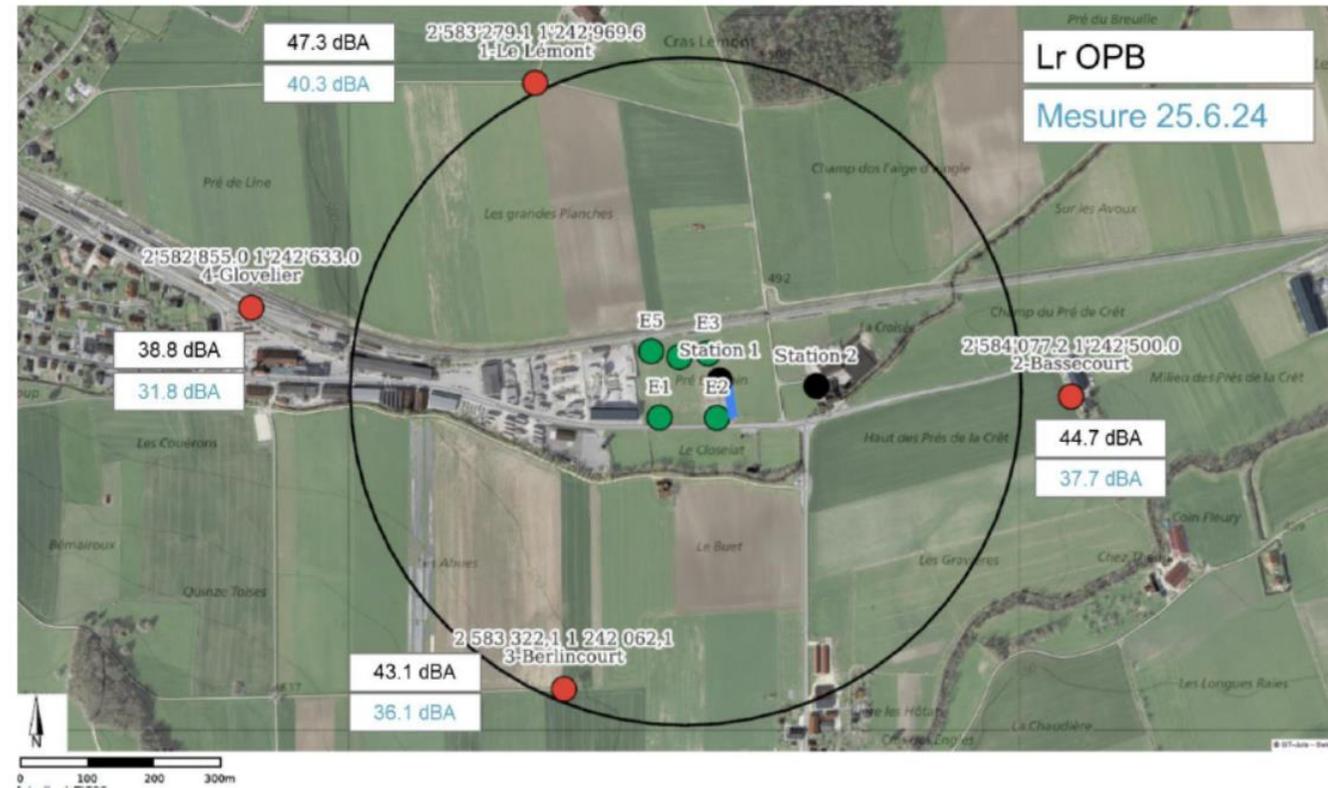


Figure 8 Synthèse des mesures brutes et des niveaux d'évaluation Lr OPB pour les 4 points d'évaluation éloignés

# Suivi environnemental – Bruit (2)

- ❑ Les opérations qui ont suivi la fin du forage de la troisième section ont impliqué de nombreuses manipulations des tiges de forage et donc plus de bruit impulsif (chocs métalliques). En particulier, les opérations de mesures (logging while drilling) début août ont suscité des réclamations d'habitants de Berlincourt.
- ❑ Une campagne de mesures complémentaire a été demandée par le Canton et réalisée par CSD dans la nuit du 14 août. Les mesures confirment une modification de la nature du bruit par rapport à la phase de forage (plus de moteur, principalement bruits de chocs métalliques par la manutention des tiges)

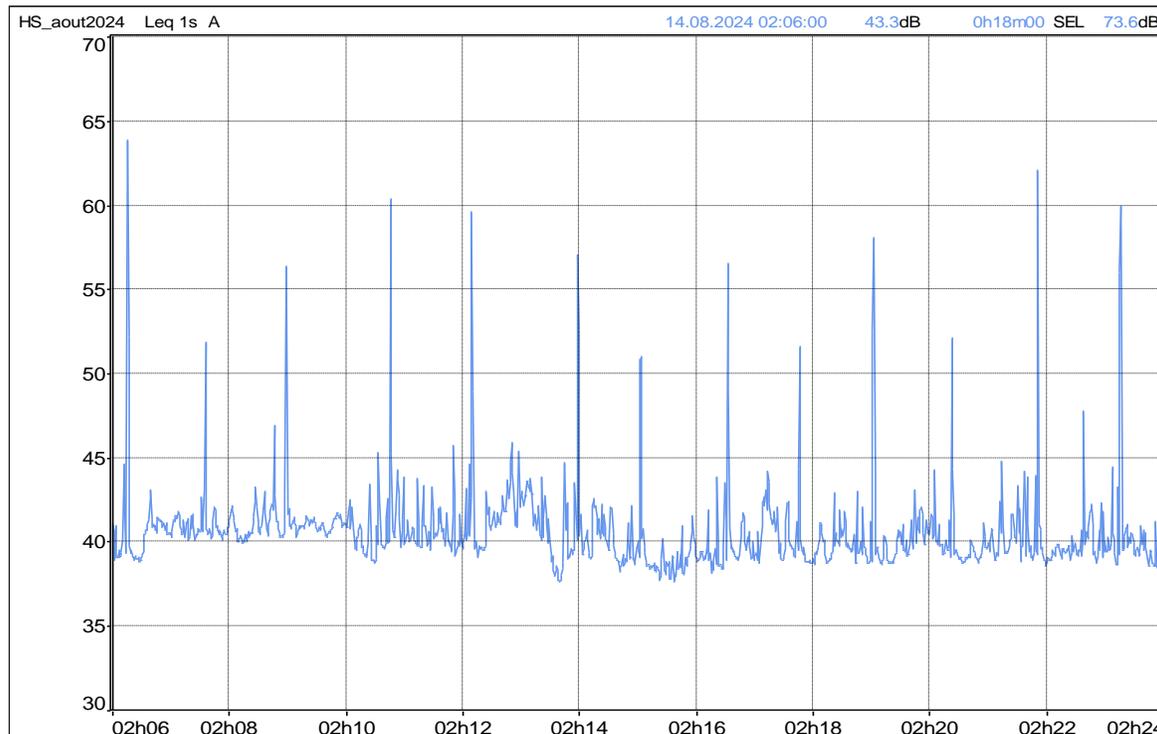


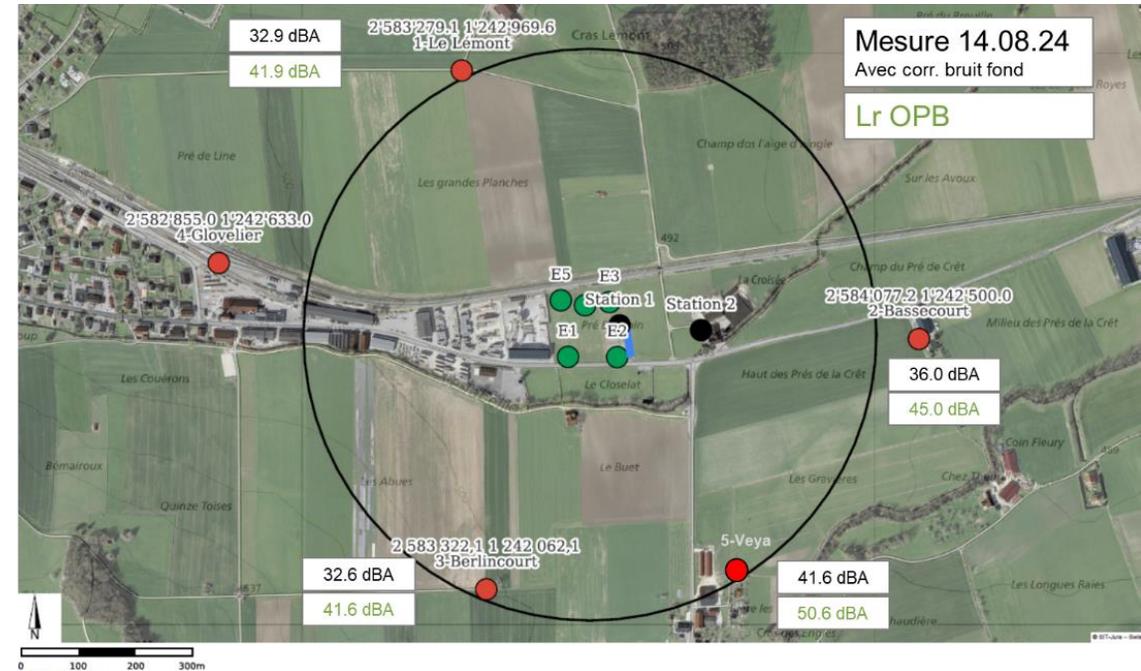
Illustration des bruits de chocs réguliers mesurés à Berlincourt (point n° 5)

# Suivi environnemental – Bruit (3)

- ❑ Les sources de bruit constatées la nuit du 14 août provenaient principalement des allers-retours verticaux du topdrive ainsi que des opérations de démontage du train de tiges. Les émissions se caractérisaient par une succession de bruits de chocs métalliques entre les tiges de forage lors de leur rangement sur le rack au sol, à intervalles de quelques minutes, clairement perceptibles depuis le village de Berlincourt en particulier. Cette émergence de bruit de chocs métalliques était manifestement la cause principale de la gêne ressentie par certains habitants.
- ❑ Les niveaux d'évaluation Lr OPB étaient compris entre 42 et 51 dBA pour les quatre points d'évaluation retenus (avec correction du bruit de fond). La VLI de 55 dBA était par conséquent clairement respectée, avec une marge de plus de 4 dBA.
- ❑ Par analogie, les VLI étaient également respectées au niveau des habitations des villages de Berlincourt, Glovelier et Bassecourt, ainsi qu'à la ferme du Lémont
- ❑ Les VLI étaient également respectées au niveau de la ferme des Croisées, bien protégée par la paroi anti-bruit.

Corr. OPB + 9 dBA  
K1 = 5  
K2 = 0 (tonales)  
K3 = 4 (impulsives)

VLI OPB = 55 dBA



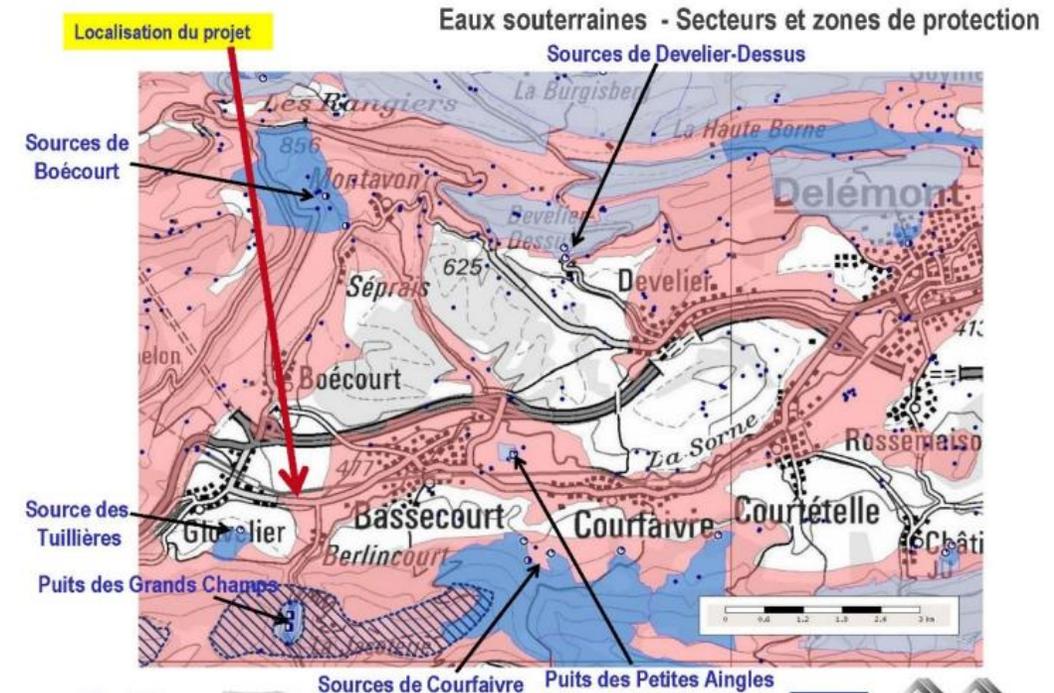
# Suivi environnemental – Bruit (4)

## Synthèse du monitoring du bruit

- ❑ L'analyse des données de mesures du bruit (deux stations fixes en continu et mesures ponctuelles) a montré que les exigences fixées dans l'autorisation ont été respectées sur toute la durée du forage:
  - ❑ Les niveaux d'évaluation OPB déterminés au niveau des villages voisins de Berlincourt, Glovelier et Bassecourt ont en effet été régulièrement sensiblement inférieurs à la valeur limite d'immission (VLI) de l'OPB qui constitue la référence dans le cas présent.
  - ❑ La construction d'une paroi antibruit de 10 m de hauteur en limite Est de la place de forage a contribué de manière probante à réduire la propagation du bruit en direction de la ferme des Croisées, le point récepteur le plus proche et identifié comme critique dès le début de la phase de planification.
  - ❑ L'habitation de la ferme des Croisées a été particulièrement exposée au bruit des travaux de forage. L'analyse des données de mesures en continu confirme toutefois que les niveaux d'évaluation sont restés inférieurs à l'objectif fixé et ce durant toute la durée du forage, à l'exception de deux nuits particulièrement bruyantes dans les premiers temps du forage (23 et 24 mai).
- ❑ Des émissions de basses fréquences issues des tamis vibrants ont, par moment, généré des nuisances pour le voisinage. La cause de ces émissions n'a pas pu être clairement établie.

# Suivi environnemental – Eaux souterraines

- ❑ Un monitoring des eaux souterraines est en place sur 11 points de surveillance de la région (sources et puits). Des mesures réalisées entre avril 2023 et avril 2024 ont permis de définir l'état initial.
- ❑ Durant la phase de forage, et en particulier durant la phase 1 traversant les aquifères du Malm et du Dogger, **un plan d'alarme** a été mis en place pour réagir en cas d'incident ou d'événement anormal durant les opérations de forage et de cimentation.
- ❑ Durant les travaux de forage ou de cimentation, aucun incident pouvant impacter les eaux souterraines ne s'est produit:
  - ❑ Pas de perte de boue mesurable
  - ❑ Pas d'arrivée d'eau dans le puits
  - ❑ Pas de perte de ciment
- ❑ Le monitoring des eaux souterraines se poursuit pour vérifier qu'aucune influence du forage n'est mesurable sur les eaux souterraines (déviations par rapport à l'état initial).



# Suivi environnemental – Eaux de surface

- ❑ Aucun prélèvement d'eau n'a été effectué dans le Tabeillon durant la réalisation du forage exploratoire.
- ❑ Les eaux pluviales de la plateforme de forage durant les travaux ont été collectées dans le bassin de sécurité.
- ❑ Les mesures régulières de la qualité de l'eau ont montré périodiquement une influence des opérations de forage sur la qualité des eaux collectées (par exemple turbidité ou présence de sels).
- ❑ Les eaux du bassin de sécurité ont été évacuées à la STEP du SEDE via le réseau intercommunal d'eaux usées.
- ❑ En phase de chantier, on ne relève aucun rejet vers le Tabeillon.

# Suivi environnemental – Composition des boues de forage

Composition et concentrations de la boue de forage pour la troisième section:

Eau / Polymère

volume de boue prévu : 628 m<sup>3</sup>

volume effectif : 1051 m<sup>3</sup>

D'une manière générale, les boues de forage sont essentiellement composées d'eau, les additifs ne représentant que quelques pourcents de la masse. Dans les lithologies salines, une forte saturation en sels est nécessaire pour éviter la mise en solution de la roche. C'est le cas de la deuxième section où la concentration en sel a représenté plus de 20% de la masse de la boue

| Phase 3                        | Description                | Rôle                                    | Concentration               |                        |
|--------------------------------|----------------------------|---|-----------------------------|------------------------|
|                                |                            |   | Planifiée                   | Effective              |
| Eau                            |                            |   |                             |                        |
| ML Carb / Carbonate de calcium | Calcaire CaCO <sub>3</sub> | Densité                                 | 50kg/m <sup>3</sup> et plus | 35.0 kg/m <sup>3</sup> |
| PAC LV                         | Polymère                   | Viscosité – contrôle de perte de fluide | 10kg/m <sup>3</sup>         | 11.4 kg/m <sup>3</sup> |
| Polydrill F                    | Polymère                   | Viscosité – contrôle de perte de fluide | <10kg/m <sup>3</sup>        | 0 kg/m <sup>3</sup>    |
| S-ES Bio XG                    | Polymère - Xanthane        | Viscosité – contrôle de perte de fluide | <2.5kg/m <sup>3</sup>       | 2.1 kg/m <sup>3</sup>  |
| Carbonate de Sodium            |                            | Contrôle pH                             | <2kg/m <sup>3</sup>         | 5.9 kg/m <sup>3</sup>  |
| Floc cationic                  | Polymère                   | Floculant                               | <1kg/m <sup>3</sup>         | 0.2 kg/m <sup>3</sup>  |
| S-ES Defoamer                  | Tri isobutyl Phosphate     | Antimoussant                            | <0.5kg/m <sup>3</sup>       | 0.5 kg/m <sup>3</sup>  |
| Bicarbonate de sodium          |                            | Contrôle pH                             | -                           | 1.8 kg/m <sup>3</sup>  |
| Acide citrique                 |                            | Contrôle pH                             | -                           | 0.2 kg/m <sup>3</sup>  |
| Nuosept 78                     |                            | Lubrifiant et biocide                   | -                           | 0.3 kg/m <sup>3</sup>  |
| Bentonite                      | Argile                     | Viscosité – contrôle de perte de fluide | -                           | 1.4 kg/m <sup>3</sup>  |
| Soude caustique 50%            |                            | Contrôle pH                             | -                           | 0.6 kg/m <sup>3</sup>  |
| Chlorure de Sodium             | NaCl - Sel de cuisine      | Saturation / densité                    | -                           | 1.0 kg/m <sup>3</sup>  |
| Polyglycol MC                  | Butoxy triéthylène glycol  | Inhibiteur de corrosion, anti-accrétion | -                           | 16.6 kg/m <sup>3</sup> |
| Barite                         | Sulfate de Barium          | Densité                                 | -                           | 60.5 kg/m <sup>3</sup> |
| PAC R                          | Polymère                   | Viscosité – contrôle de perte de fluide | -                           | 0.4 kg/m <sup>3</sup>  |

# Suivi environnemental – Déchets

## Elimination des déchets par la société Bolliger à Granges (situation à la fin du forage)

### 1ère section 22.05-30.05

déchets liquides (tonnes) 223

déchets solides (tonnes) 268

### 2ème section 31.05-19.06

déchets liquides (tonnes) 507

déchets solides (tonnes) 610

### 3ème section 20.06-29.08

déchets liquides (tonnes) 1741

déchets solides (tonnes) 366

# Suivi environnemental – Déchets

## Radioactivité

- ❑ Mesures quotidiennes à proximité des bacs de récupération des cuttings, selon méthodologie définie dans le cadre de l'étude d'impact
  - ❑ Diagraphies de la radioactivité naturelle durant le forage (Gamma-Ray)
  - ❑ Analyses hebdomadaires de la boue de forage de la section 3
- 
- **Aucune mesure de radioactivité supérieure aux normes. Niveaux correspondant à la radioactivité naturelle ambiante.**
  - **Pas de mesure nécessaire du point de vue de la protection des travailleurs**
  - **Pas de mesure nécessaire du point de vue de la gestion des déchets**

# Travaux en cours – Analyse des données du forage GVL-1

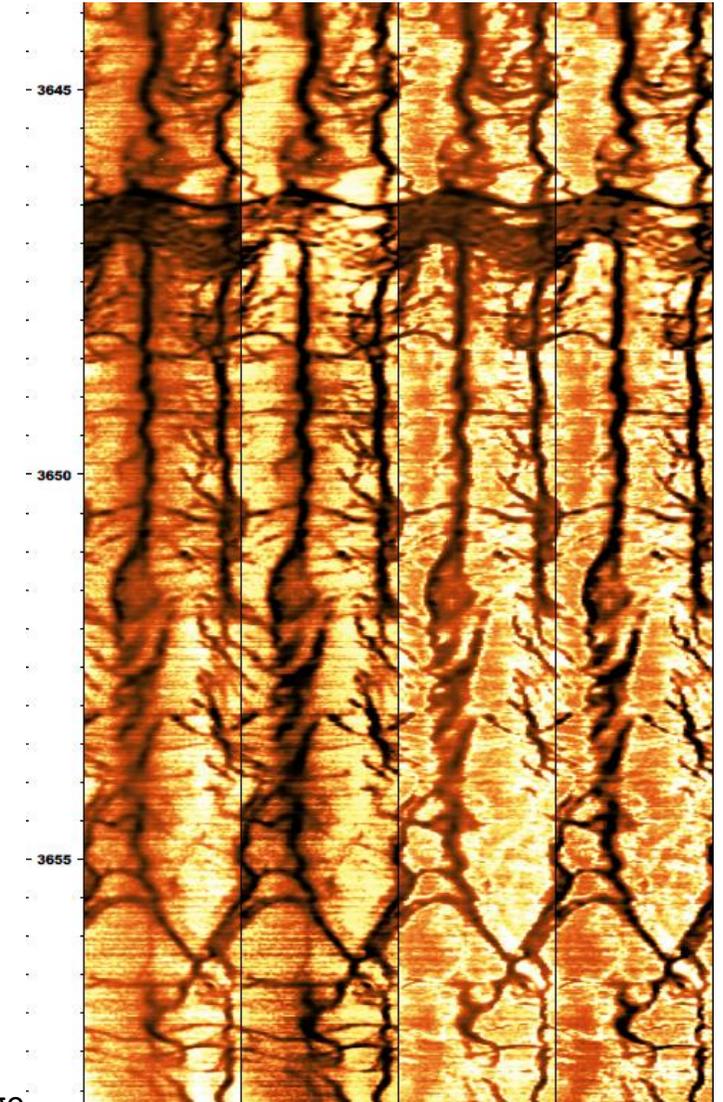
## Caractérisation du réservoir (fractures et contraintes)

Analyse des images de la paroi du forage réalisées dans la section inférieure du forage. L'objectif est de déterminer

- la répartition et orientation des fractures naturelles dans la roche,
- L'orientation et la variation des contraintes.

Ces informations sont notamment utilisées dans la planification des tests de stimulation, en particulier la détermination de la profondeur de l'intervalle qui sera testé.

Les résultats préliminaires sont conformes aux attentes.

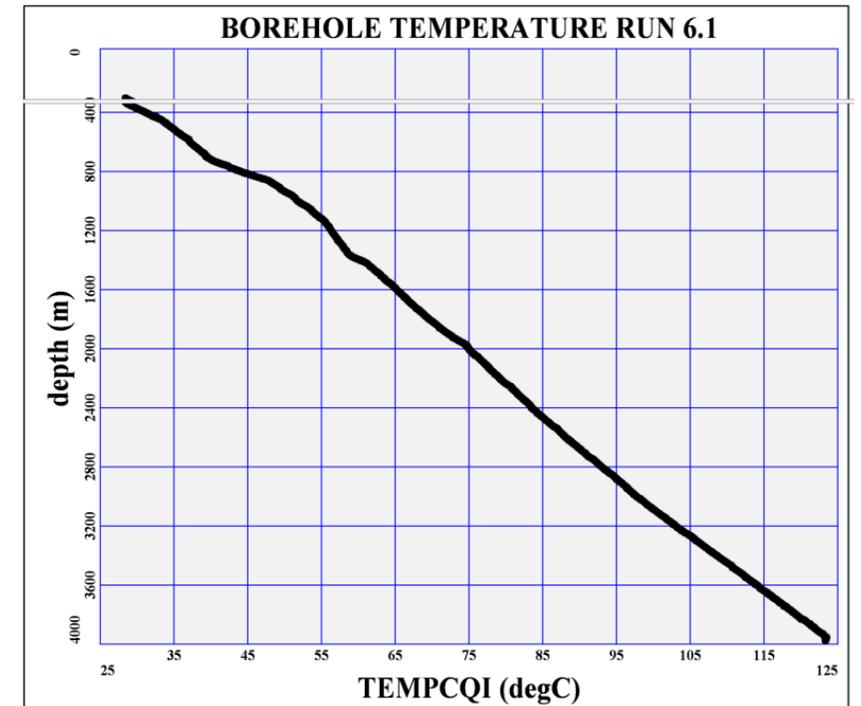


Images de la paroi du forage présentant des fractures verticales et inclinées dans le granite

# Travaux en cours – Analyse des données du forage GVL-1

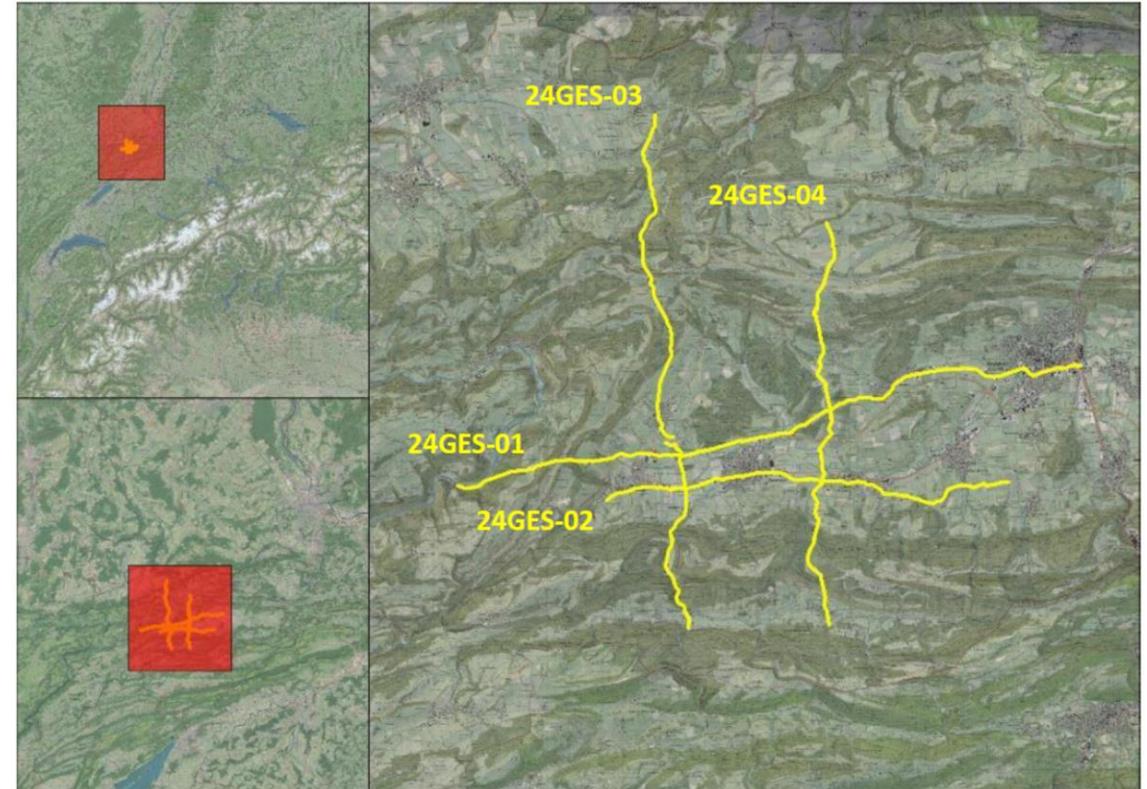
## Caractérisation du réservoir (température)

- ❑ La température au fond du forage a été mesurée avec les diagraphies de la 3<sup>ème</sup> section le 18 septembre dernier. Elle de 123 C° à 3990 m.
- ❑ Cette température ne représente toutefois qu'une approximation de la température de la roche car un équilibre thermique n'est atteint que plusieurs mois après la fin du forage. On doit donc s'attendre à ce que cette température augmente encore de quelques degrés. Une nouvelle mesure de la température sera réalisée au plus tard avec les tests de stimulation prévus en mars-avril 2025.
- ❑ La valeur mesurée en septembre montre un gradient géothermique proche de la moyenne suisse à 30°C/km. Avec un tel gradient, la température attendue à 5'000 m est proche de 160°C.



# Travaux en cours – Analyse des données géophysiques

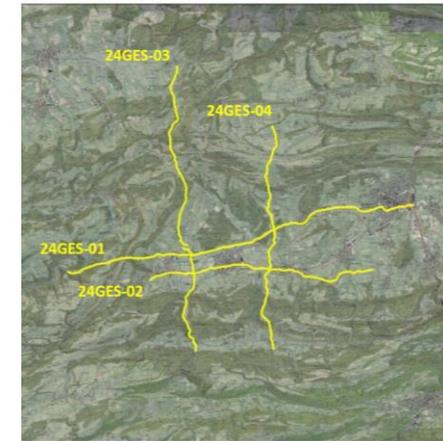
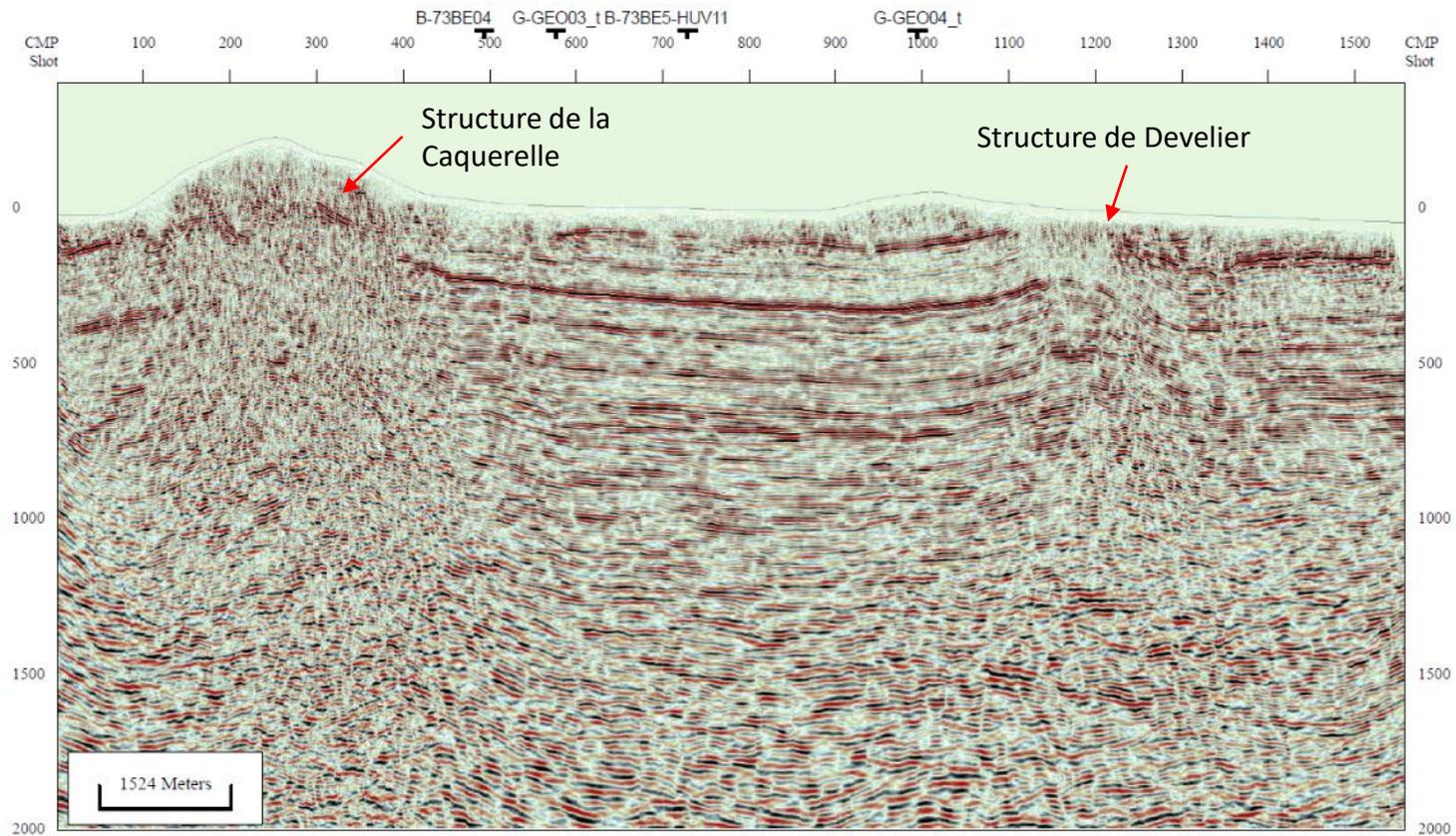
- ❑ 50 km de nouveaux profils 2D acquis en avril 2024
- ❑ Traitement des données achevé, interprétation en cours
- ❑ Résultats préliminaires: confirmation du modèle géologique. Le réservoir géothermique se trouve dans un bloc homogène du socle, bordé à l'est par la structure de Develier et à l'ouest par celle de la Caquerelle.



| Line     | Receivers | Shot points | Length (km) |
|----------|-----------|-------------|-------------|
| 24GES-01 | 877       | 793         | 17.52       |
| 24GES-02 | 563       | 502         | 11.24       |
| 24GES-03 | 748       | 692         | 14.94       |
| 24GES-04 | 581       | 498         | 11.60       |

# Travaux en cours – Analyse des données géophysiques

Ligne 01



# Travaux à venir – campagne sismique 3D

- Janvier 2025. Acquisition sur une douzaine de jours.  
Planification envisagée:

| Semaine                    | 2          |            |            |            |            | 3          |            |            |            |            | 4          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| Date                       | 06.01.2025 | 07.01.2025 | 08.01.2025 | 09.01.2025 | 10.01.2025 | 11.01.2025 | 12.01.2025 | 13.01.2025 | 14.01.2025 | 15.01.2025 | 16.01.2025 | 17.01.2025 | 18.01.2025 | 19.01.2025 | 20.01.2025 | 21.01.2025 | 22.01.2025 | 23.01.2025 | 24.01.2025 | 25.01.2025 | 26.01.2025 |  |
| TOPOGRAPHIE Forêt          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |
| IMPLANTATION DES GÉOPHONES |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |
| MOBILISATION VIBRATEURS    |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |
| ACQUISITION DE JOUR        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |
| DEMOBILISATION / RAMASSAGE |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |  |

- Acquisition au moyen de camions vibreurs IVI Mark IV, comme en avril 2024 ( 2 camions actifs sur 2 positions différentes)
- Travaux de jours
- Procédure d'autorisation en cours auprès du Canton



# Travaux à venir – campagne sismique 3D



Zone d'étude sismique 3D

# Travaux à venir – Tests de stimulation

- ❑ Prévus en mars-avril 2025. Durée: 2-3 semaines
- ❑ But: étudier le comportement de la roche lors de l'injection d'eau sous pression:
  - Mettre à jour les études de risque pour la stimulation principale du réservoir
  - Caractériser les propriétés mécaniques et hydrauliques de la roche et définir ainsi les paramètres opérationnels de la stimulation principale
  - Les tests de stimulation représentent l'un de éléments les plus importants pour la réduction du risque sismique.
- ❑ Opérations
  - De l'eau sera injectée à travers des ouvertures pratiquées dans le tubage du forage à une profondeur d'environ 3'800 m. Injection progressive en augmentant le débit tout en observant la sismicité induite en temps réel.
  - Le test sera poursuivi jusqu'à obtenir des enregistrements de la microsismicité statistiquement représentatifs pour autant que la magnitude demeure inférieure à 1, dans lequel cas le test serait interrompu. Un maximum de 500 m<sup>3</sup> d'eau sera injecté durant un cycle de test. En l'absence de microsismicité statistiquement représentative, ce cycle de test pourra être répété 2 à 3 fois. Un minimum de 24 heures d'observation sera respecté entre deux cycles d'injection.
  - La surveillance sismique en temps réel sera assurée grâce à une chaîne de sismomètres installée dans le forage. Les sismomètres seront ainsi disposés très proches du point d'injection et permettront un suivi très précis des opérations.

# Calendrier de la phase d'exploration

Projet de géothermie de Haute-Sorne

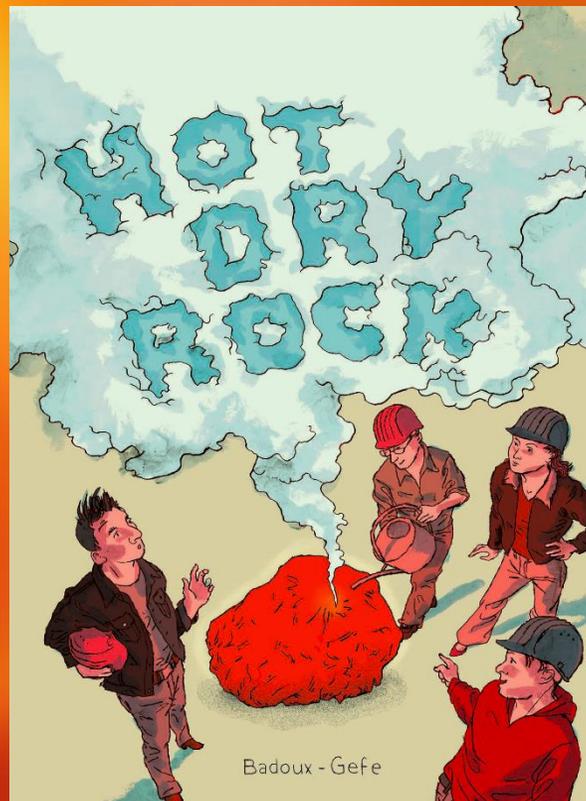
Phase d'exploration

Etat de la planification au 31 août 2024



|  | 2024 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 2025 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|  | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| <b>Site de forage</b>                                    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| planification, adjudications, travaux préparatoires      |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| construction   | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <b>Suivi environnemental</b>                             |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| planification, travaux préparatoires                     |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| mise en œuvre durant la construction et le forage        | ■    |   |   |   |   |   |   |   | ▨ |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <b>Monitoring sismique (réseau de surface)</b>           |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| planification - autorisations                            |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| installation, construction                               | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| exploitation   | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <b>Risque sismique</b>                                   |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Evaluation continue du risque avec nouvelles données     | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Mise à jour du modèle géologique et de l'étude de risque | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <b>Etablissement des preuves</b>                         |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| planification, travaux préparatoires                     |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| mise en œuvre systématique protocoles individuels        | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| mise en œuvre bâtiments représentatifs / RBC / industrie | ■    |   |   |   |   | ▨ |   |   |   |    |    |    | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <b>Géophysique</b>                                       |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Tests instruments monitoring                             |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Sismique hybride (chute-de-poids, acquisition 4 jours)   | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Sismique 2D (vibrosismique, acquisition 2-3 s)           | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Sismique 3D (vibrosismique, acquisition 3-4 s)           | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Sismique passive (ANT avec Uni GE, planification)        | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Sismique passive (ANT avec Uni GE, acquisition 1 m)      | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Interprétation et intégration des résultats              | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <b>Forage d'exploration</b>                              |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| planification  | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| forage et mesures  | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| tests de stimulation                                     |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | ■    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Centre de compétence suisse  
en géothermie profonde pour  
la production d'électricité et de chaleur



Merci pour votre attention!

# **PROCÉDURE D'AUTORISATION PAR LE CANTON**



Pierre Brulhart, République et Canton du Jura

## 2013-2015

FICHE 5.07.1  
DU PLAN DIRECTEUR

DOCUMENTS DU  
PLAN SPÉCIAL CANTONAL  
(PLANS, RIE, FORMULAIRES,  
ETC.)

Plan spécial  
(y.c. prescriptions)

Autorisations spéciales  
(dont ENV)

Convention 2015  
entre le canton, la commune  
et l'exploitant

## 2016-2022

ARRÊTS DU TC ET DU TF

RAPPORT ET  
RECOMMANDATIONS  
DU SED

NOUVELLES CONNAISSANCES

MISE À JOUR DU CONCEPT DE  
DÉVELOPPEMENT DU PROJET

Convention 2022 entre le  
canton et l'exploitant

## 2025

RÉSULTATS ET OBSERVATIONS  
DE LA PHASE EXPLORATOIRE

MISE À JOUR DE  
L'ANALYSE DE RISQUE

RAPPORT SUR LA PHASE  
EXPLORATOIRE ET DEMANDE DE  
L'EXPLOITANT POUR  
LA PHASE DE STIMULATION

RAPPORT ET  
RECOMMANDATIONS DU GEI  
ET DES SERVICES DE L'ÉTAT

ÉCHANGES AVEC L'EXPLOITANT

TRAITEMENT PAR LE GOUVERNEMENT

- Si besoin :
- échanges avec l'exploitant
  - demande de compléments
  - adaptation du projet

Signature d'une nouvelle convention  
(ou avenant)

PHASE EXPLORATOIRE (2023-2025)

Une ou plusieurs conditions ne sont pas respectées

Le risque n'est pas acceptable

Le Gouvernement n'autorise pas la  
poursuite du projet

La décision est notifiée à l'exploitant

Communication publique

Procédure judiciaire possible

Toutes les conditions sont respectées

Le Gouvernement valide  
la poursuite du projet

Une nouvelle convention ou un avenant  
est signé avec l'exploitant

Communication publique

Démarrage de la phase de stimulation

# **SÉANCE PUBLIQUE : PRÉSENTATION DU PROGRAMME**

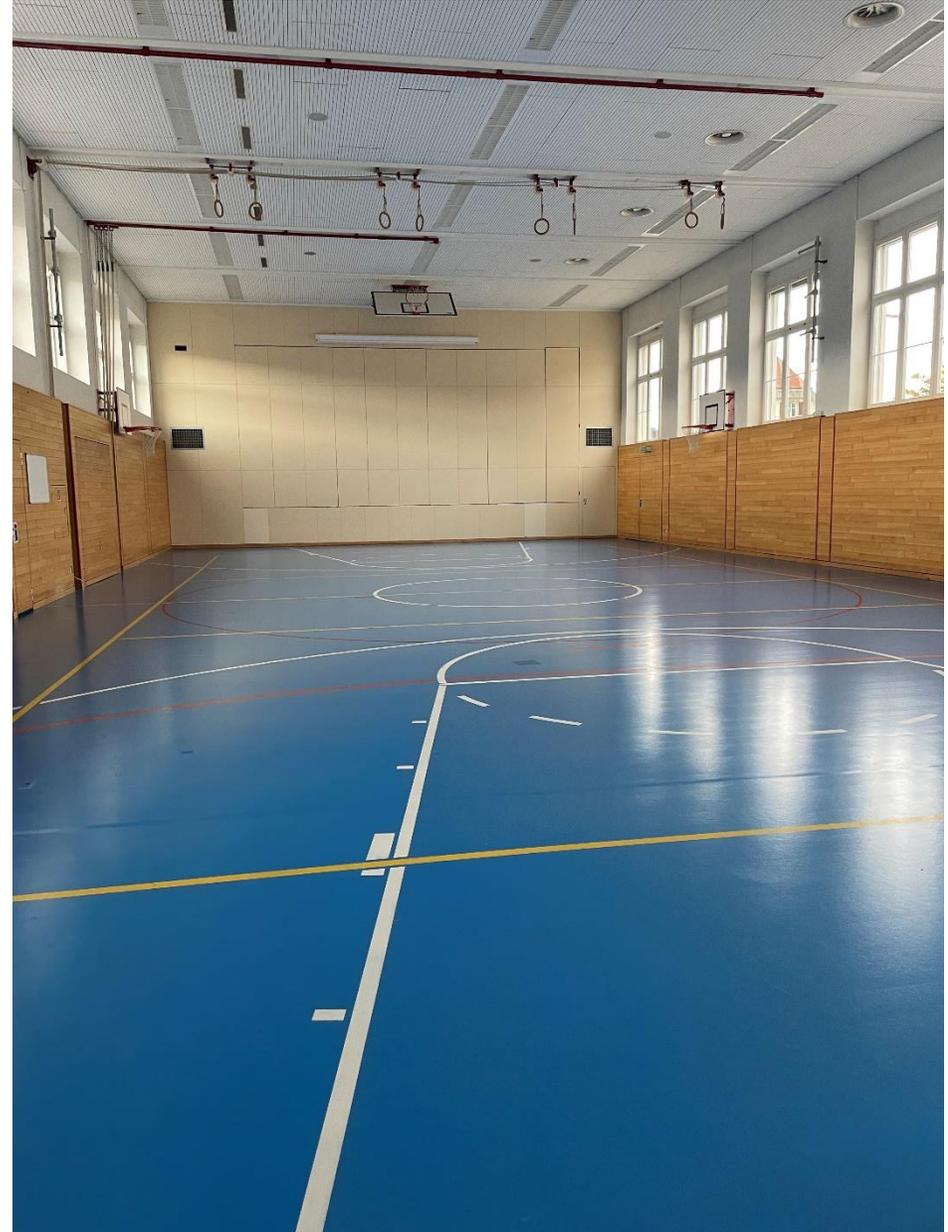


Pascal Mahon, président de la CSI

# Lieu

## Halle de gymnastique de Bassecourt

- 360 places assises
- système audio-visuel mis à disposition par la Commune
- emplacement central dans la Commune et idéal vis-à-vis de la gare



# Séance publique 21 novembre 2024 à 18h30

## Plan A : 1h45

- 18h30-18h35**      **Introduction**  
Pascal Mahon
- 18h40-18h45**      **Modération (présentation du programme)**  
Nicolas Rossé
- 18h45-19h05**      **PARTIE 1 - LE PROJET DE HAUTE-SORNE : ÉTAT DES LIEUX, SURVEILLANCE ET PROCHAINES ÉTAPES DÉCISIONNELLES**  
**Premiers résultats et suite des opérations** Olivier Zingg
- 19h05-19h15**      **Suivi et surveillance du Canton** Quentin Theiler
- 19h15-19h25**      **Prochaines étapes décisionnelles** Pierre Brulhart
- 19h25-19h35**      **PARTIE 2 - LE PROJET DE HAUTE-SORNE DES POINTS DE VUE FÉDÉRAL, CANTONAL ET COMMUNAL**  
**Stratégie énergétique et perspectives de la Confédération** Laura Antonini
- 19h35-19h45**      **Stratégie énergétique du Canton** Pierre Brulhart
- 19h45-19h50**      **Comment le projet s'intègre-t-il dans la stratégie énergétique communale ?** **Commune, qui?**
- 19h50-20h15**      **Questions et discussion avec le public**  
Nicolas Rossé
- 20h15-20h20**      **Conclusion**  
Pascal Mahon
- 20h20-20h35**      **Pause**

# CONFÉRENCE-DÉBAT

## 21 NOVEMBRE 2024 À 20H35

---

### Invités :

*Frédéric Bernard, professeur de droit public à l'université de Genève*  
*Nicolas Rossé, journaliste économique au téléjournal RTS*

#### **Introduction**

Pascal Mahon

#### **Modération (explication du déroulement)**

Nicolas Rossé

#### **Conférence «Processus d'autorisation du projet de Haute-Sorne : peut-on parler de déni démocratique?»**

Frédéric Bernard

#### **Questions et discussion avec le public**

Nicolas Rossé

#### **Conclusion et clôture (intérêt pour les atelier-citoyens?)**

Pascal Mahon

# **Séance publique 21 novembre 2024 à 18h30**

## **Plan B : 1h20**

---

- 18h30-18h35 Introduction**  
Pascal Mahon
- 18h35-18h40 Modération (présentation du programme)**  
Nicolas Rossé
- 18h40-18h50 Le projet de Haute-Sorne des points de vue fédéral, cantonal et communal**  
2 ou 3 membres de la CSI
- 18h50-19h10 Premiers résultats et suite des opérations**  
Olivier Zingg
- 19h10-19h20 Suivi et surveillance du Canton**  
Quentin Theiler
- 19h20-19h30 Prochaines étapes décisionnelles**  
Pierre Brulhart
- 19h30-19h55 Questions et discussion avec le public**  
Nicolas Rossé
- 19h55-20h00 Conclusion**  
Pascal Mahon
- 20h00-20h15 Pause**

# CONFÉRENCE-DÉBAT

## 21 NOVEMBRE 2024 À 20H15

---

### Invités :

*Frédéric Bernard, professeur de droit public à l'université de Genève*  
*Nicolas Rossé, journaliste économique au téléjournal RTS*

#### **Introduction**

Pascal Mahon

#### **Modération (explication du déroulement)**

Nicolas Rossé

#### **Conférence «Processus d'autorisation du projet de Haute-Sorne : peut-on parler de déni démocratique?»**

Frédéric Bernard

#### **Questions et discussion avec le public**

Nicolas Rossé

#### **Conclusion et clôture (intérêt pour les atelier-citoyens?)**

Pascal Mahon

# SÉANCE PUBLIQUE DU 21 NOVEMBRE 2024

4 fiches d'information



## Les premiers résultats de la phase exploratoire

## Dernière étape de la phase exploratoire : description du test de stimulation

## Les décisions majeures

- passées, en lien avec la procédure d'autorisation définie par le Parlement
- à venir, en lien avec la mise à jour de l'analyse de risque et l'analyse du programme des grandes phases du projet

## La CSI : une plateforme qui vous permet de...

- Poser des questions et y trouver les réponses
- Faire des suggestions et propositions sur le travail de la CSI et ses thèmes de discussion
- Assurer un échange d'information entre tous les acteurs concernés (population, associations, autorités, promoteur)
- Obtenir des informations transparentes sur le projet
- Proposer des adaptations au projet en vue d'en limiter certaines nuisances et d'en calibrer les bénéfices pour la Commune et sa population
- Contribuer à la bonne gouvernance du projet

**PAUSE DE 15 MINUTES**



# **RETOUR D'EXPÉRIENCE DE LA SISMICITÉ INDUITE**

**observée en lien avec les sites de géothermie profonde du fossé du Rhin  
et état de l'art des méthodes de contrôle et prévention,  
du forage à l'exploitation au long cours**



Clément Baujard, És géothermie

# Speaker introduction



- **Clément Baujard**
- >20 ans d'expérience en géothermie profonde
- Thèse réalisée à Soultz-sous-Forêts en 2002-2005
- Responsable du département géosciences à ESG
- Formation: ingénieur réservoir
- Contribution dans le GEI – expertise réservoir (processus hydro-mécaniques, caractérisation du réservoir, validation des programmes)

# Electricité de Strasbourg



1 300 employés

- 550 000 clients électricité
- 110 000 clients gaz
- 1 700 clients chaleur (BtoB)
- Turnover: 871 M€
- Net income: 60 M€

En Alsace depuis 120 ans



Siège et filiales

Électricité de Strasbourg

STRASBOURG  
ELECTRICITE  
RESEAUX

DISTRIBUTION D'ELECTRICITE

Strasbourg Électricité Réseaux



FOURNITURE D'ENERGIES

ÉS Énergies Strasbourg

Les services  
énergétiques



SERVICES ENERGETIQUES

ÉS Services Énergétiques



ENERGIES RENOUVELABLES

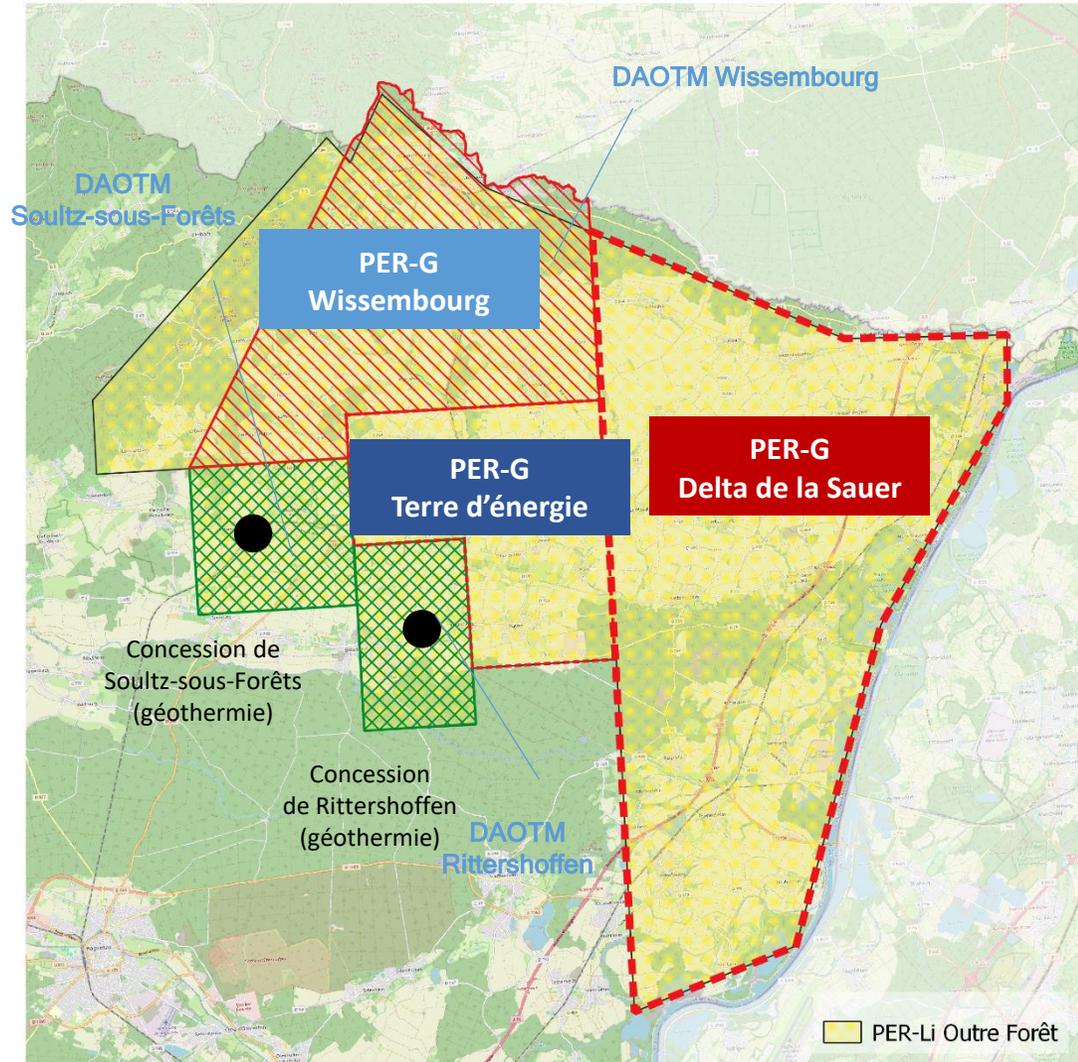
ÉS Biomasse  
ÉCOGI  
GEIE Sultz  
ÉS Développement Durable  
➔ ÉS Géothermie

# ÉS-Géothermie en quelques mots

## **Bureau d'études / exploitant en géothermie profonde**

- Création en 2008
- Filiale à 100% Électricité de Strasbourg
- Chiffre d'affaires 2023 : 2,27 M€
- Effectif 01/01/2024 : 18 personnes
- Certification ISO 14001
- Compétences :
  - Exploitation des centrales géothermiques dans le respect de l'Environnement
  - Surveillance environnementale et sismologique des centrales
  - Conseil, étude et ingénierie subsurface et surface en géothermie profonde
  - AMO + MOE
  - Dossiers réglementaires et interface avec l'administration

# Titres miniers et projet d'ÉS



- Titres miniers d'ÉS secteur Nord Alsace

- 3 PER Géothermie
  - Wissembourg
  - Terre d'énergie
  - Delta de la Sauer
- 1 PER Lithium (Outre Forêt)
- 2 concessions Géothermie
  - Rittershoffen
  - Soultz-sous-Forêts

- Projets

- 1 nouveau doublet de forage pour la géothermie à Soultz (site "OPS4")
- 1 nouveau doublet de forage pour la géothermie à Rittershoffen (site actuel)
- 1 nouvelle centrale de géothermie pour le Pays de Wissembourg
- 1 projet de production de lithium géothermal (équivalent à 5 centrales de géothermie + une usine de raffinage de lithium) : Agéli

# ÉS Géothermie exploite deux centrales



## GEIE EMC - Soultz-sous-Forêts

Production d'électricité depuis 2016

3 puits en opération à 5 km de profondeur

Réservoir : granite fracturé

Température : production 150°C / réinjection : 65-80°C

ORC capacité : 1,7 MW électrique

2200 tonnes CO<sub>2</sub> économisées / an

*1<sup>er</sup> kg de carbonate de Li produit fin 2021*



## ECOGI - Rittershoffen

Production de chaleur depuis 2016

2 puits en opération à 2.5 km de profondeur

Réservoir : grès et granite fracturés

Température production : 168°C / réinjection : 85°C

Capacité : 24 MW thermiques

43000 tonnes CO<sub>2</sub> économisées / an

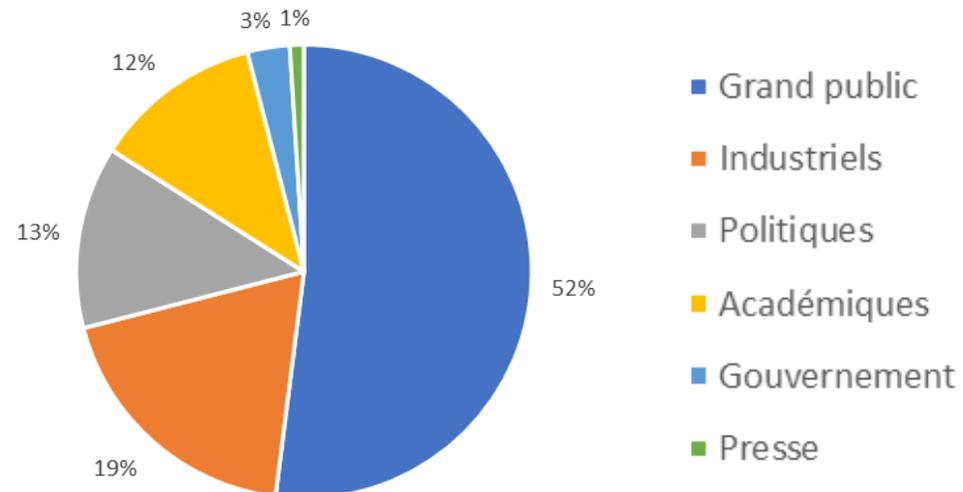
*1<sup>er</sup> TWh de chaleur produit fin 2022*



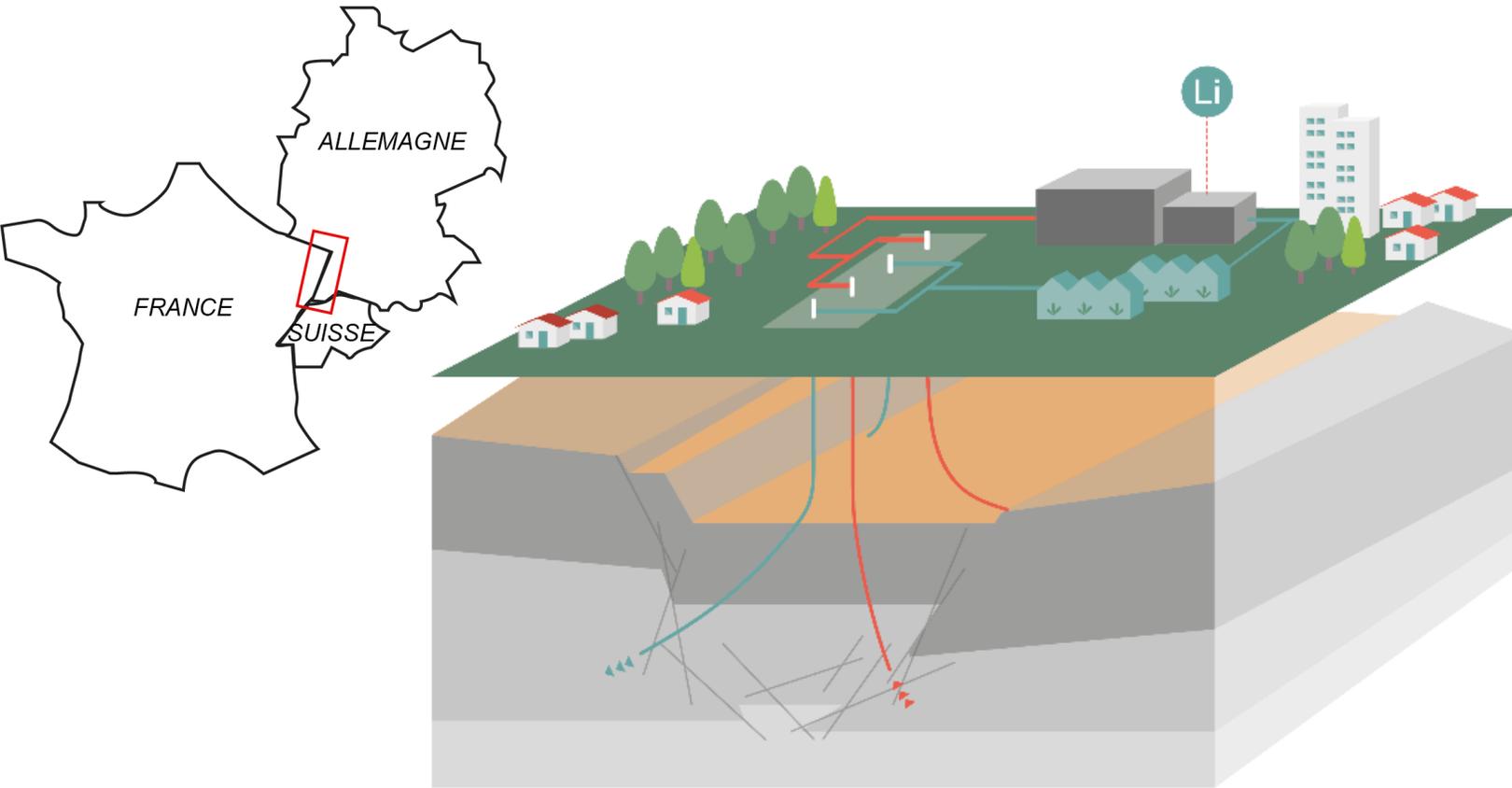
# L'acceptabilité



- Une volonté de **transparence** et de **co-construction** avec le territoire
- **Un travail fort réalisé sur l'acceptabilité du territoire** concerné (journées du patrimoine, parcours pédagogique, formations)
  - Journées portes ouvertes grand public
  - Réunions avec les élus
  - Exposition dédiée à la géothermie
- **+ de 1500 visiteurs** accueillis à la centrale de Rittershoffen en 1 an



# Contexte géologique et géothermique du fossé du Rhin



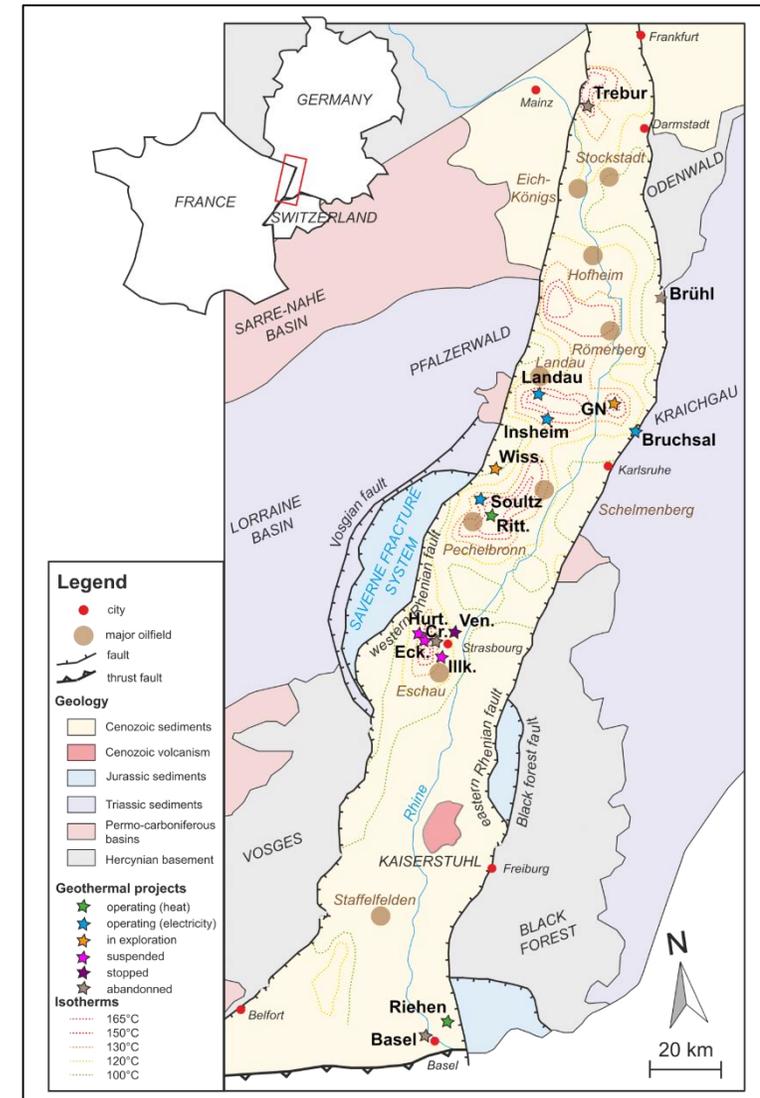
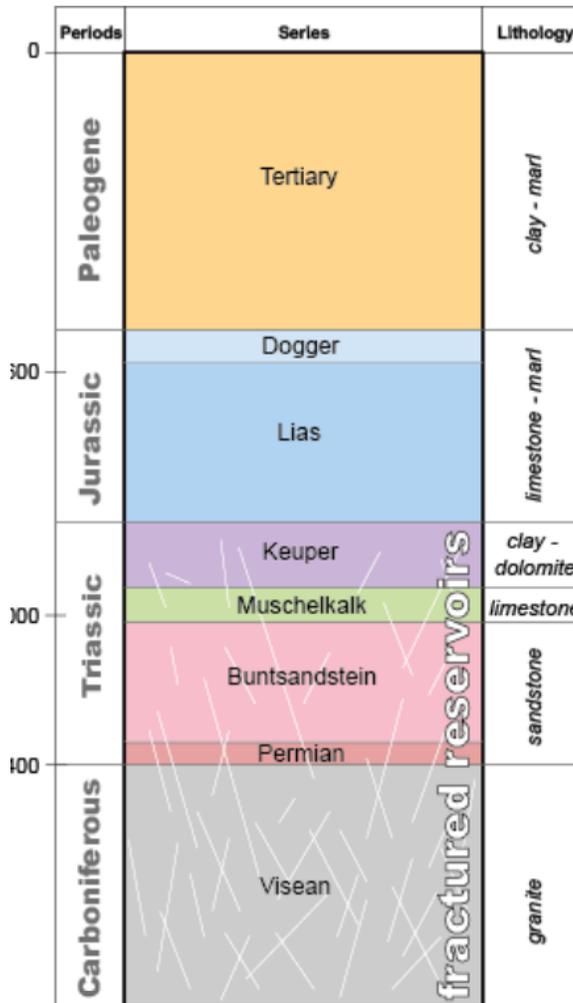
Upper Rhine Graben (URG):  
Cellules de convection d'eau  
paleometeoritique chauffée  
sous une couverture  
impermeable

Doublet géothermique : deux  
puits (un producteur et un  
injecteur)

Reservoir geothermique :  
roche naturellement fracture  
et zones de failles (grès et  
granite)

# Le Fossé du Rhin Supérieur

- 300 km x 30-40 km
- Fait partie de l'European Cenozoic Rift System (ECRIS)
- Nombreuses anomalies de gradient géothermique (gradients  $>100^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )
- Circulation de fluide dans les fractures et failles naturelles
- Saumure sursalée de type NaCl, 100g/L,  $>150^{\circ}\text{C}$
- Muschelkalk, Buntsandstein et Granite



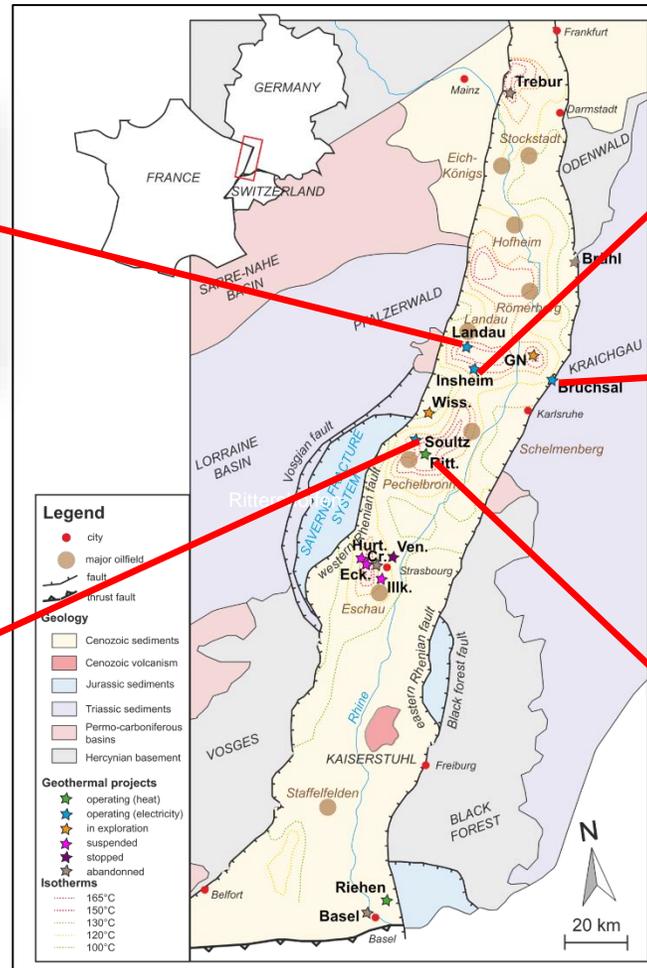
# Sites de production de géothermie dans le fossé du Rhin



Landau (DE)  
Combined Heat & Power plant  
3MWe+ district heating



Soutz (FR) 1.7MWe



Insheim (DE) 4.8MWe



Bruchsal (DE) 0.55MWe+  
district heating



Rittershoffen (FR) 24MWth

(Glaas, 2021)



# Réseau de surveillance et vue d'ensemble de la sismicité sur un projet

Cas du projet de Rittershoffen

# Réseau sismologique



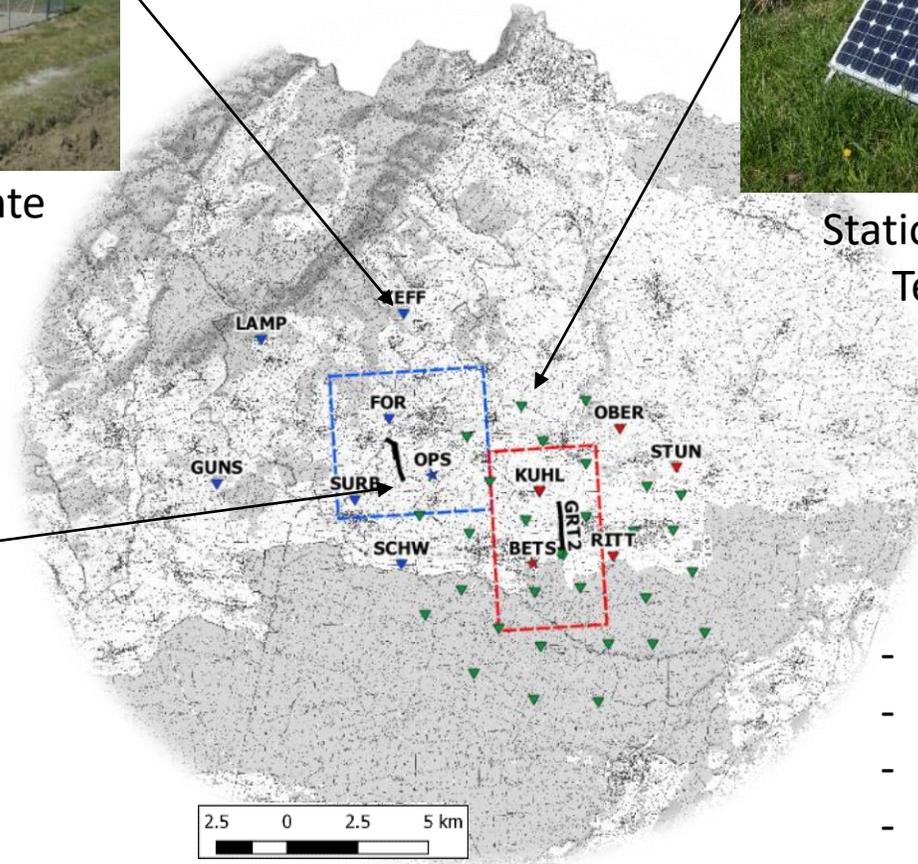
Station permanente  
temps-réel



Station temporaire  
Temps-réel

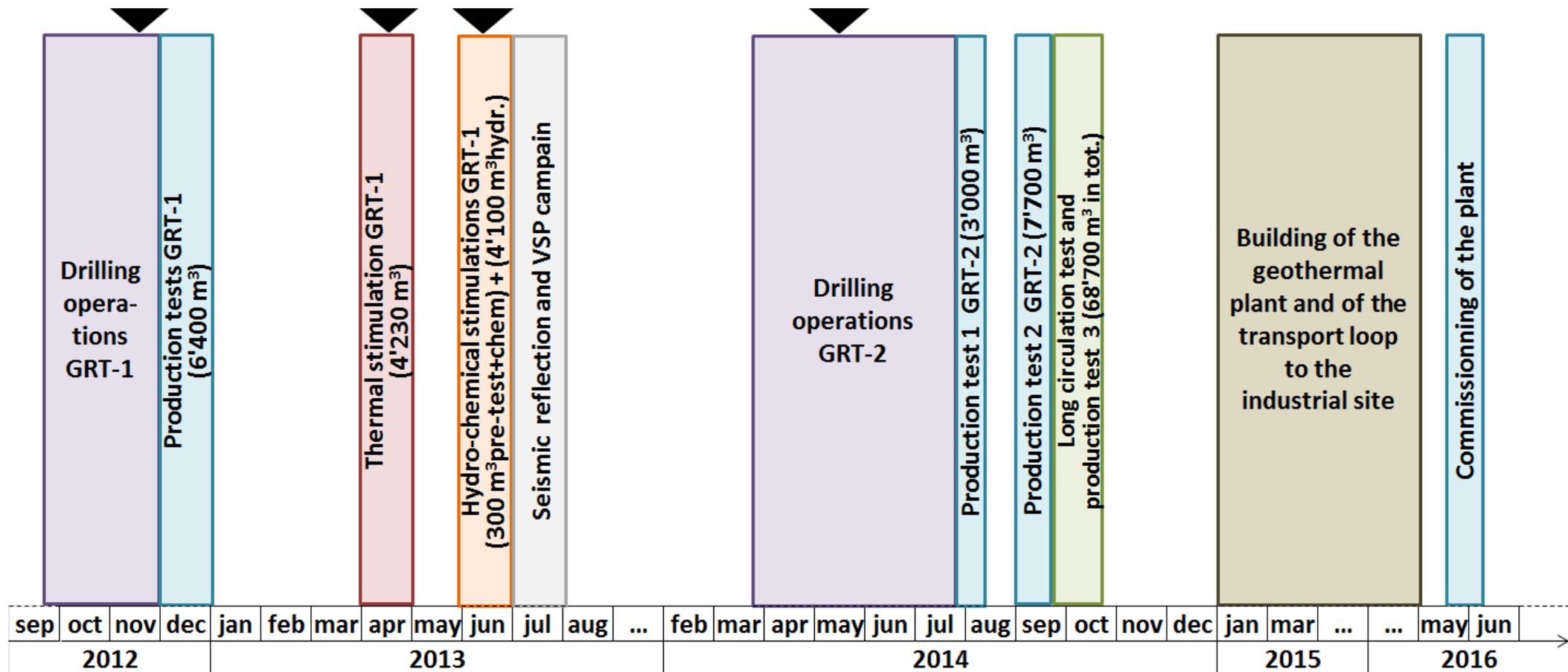


Antenne GPS



- Règlementation française :
- 4+1 stations par site
  - Réseau temporaire additionnel
  - Stations opérées par l'opérateur
  - 1 station partagée

# Chronologie des opérations réalisées sur les puits GRT-1 et GRT-2

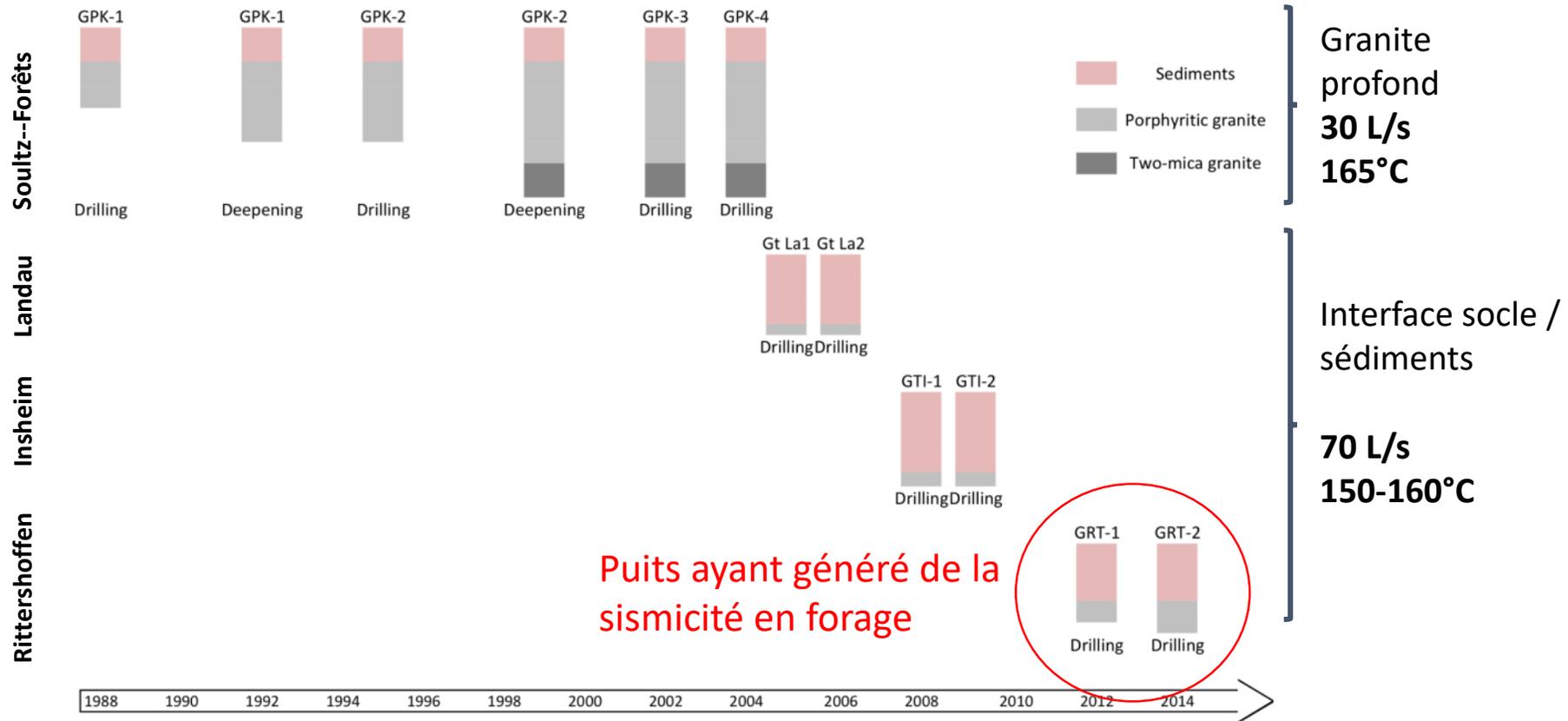




# Forage et sismicité

La sismicité induite observée lors du forage des puits

# Puits profonds de géothermie dans le fossé du Rhin

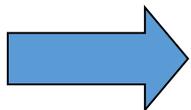


Peu de sismicité observée pendant des opérations de forage.

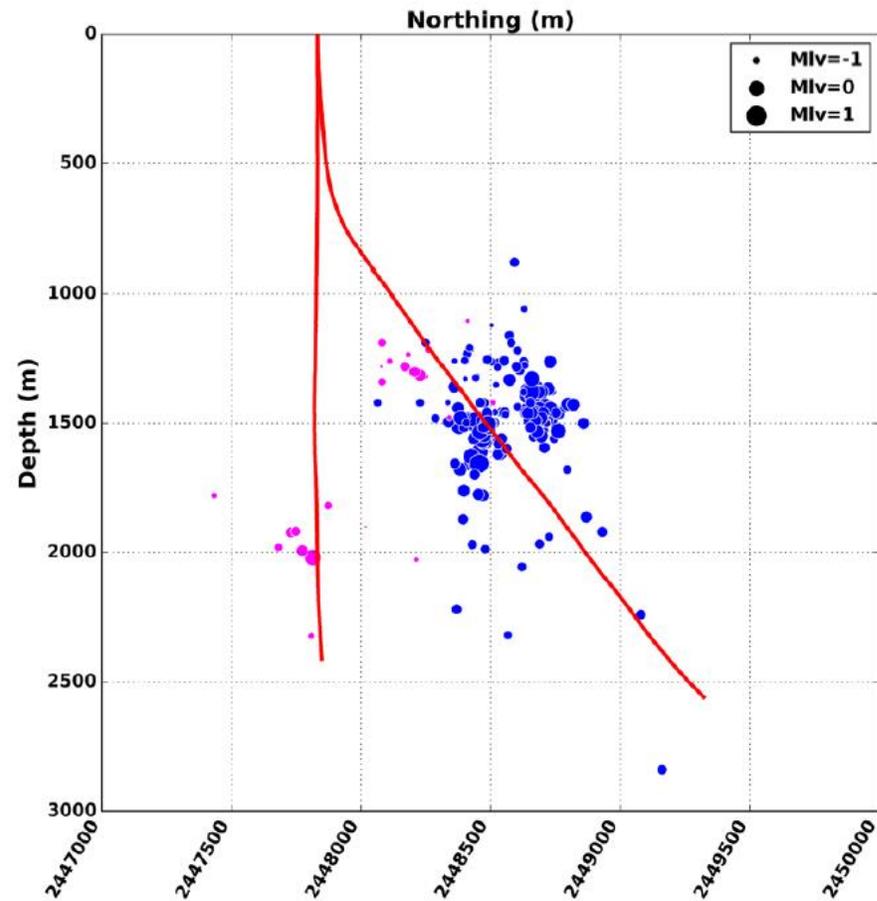
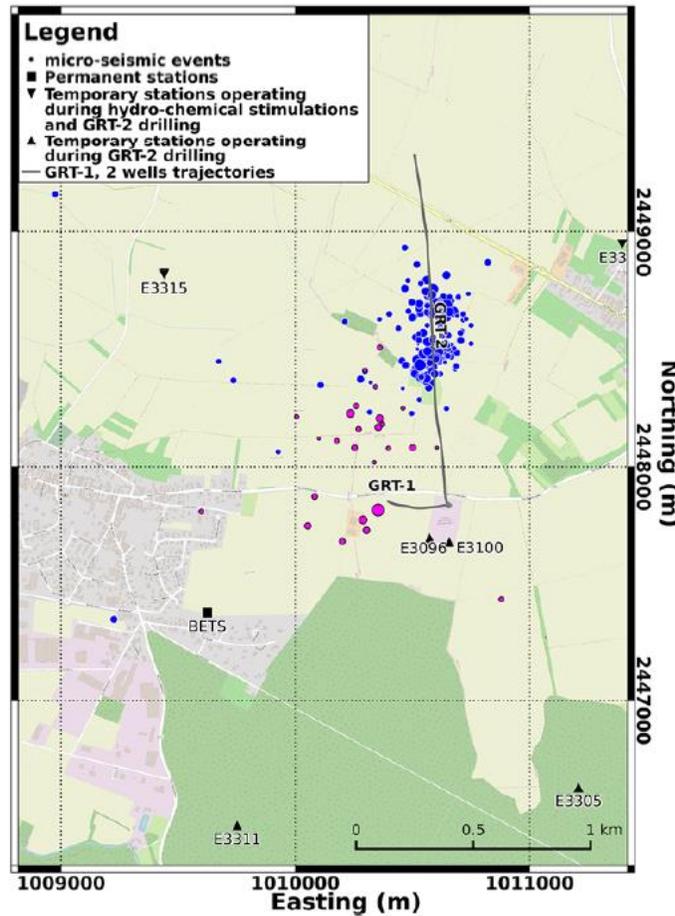
Sismicité observée uniquement lors de situations particulières (pertes / coincements)

Sismicité observée dans les couches sédimentaires et la partie supérieure du granite

**Sismicité proche puits et de faible intensité**



# Sismicité en forage : exemple de Rittershoffen

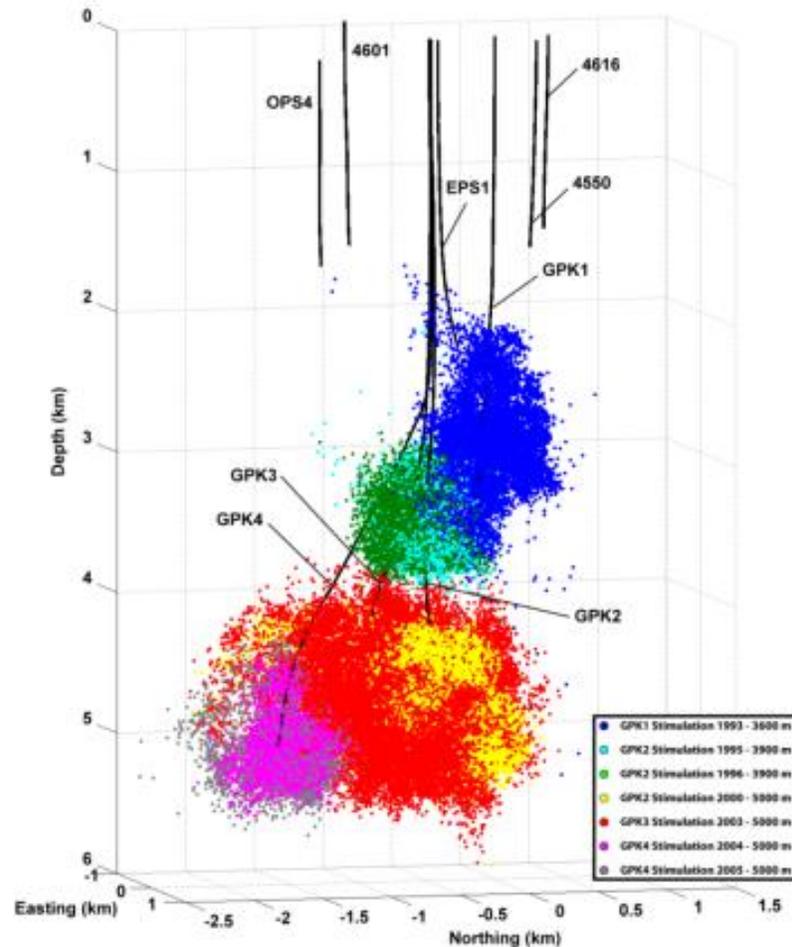




# Stimulation et sismicité

La sismicité induite générée lors du développement du puits et de la création d'un réservoir profond

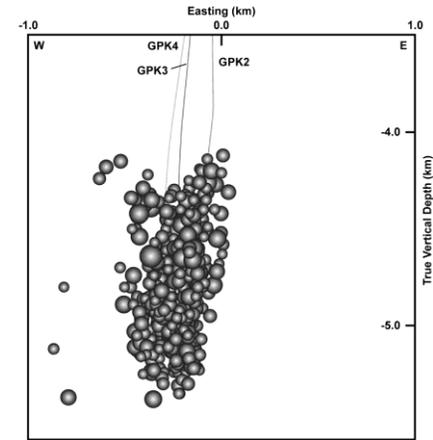
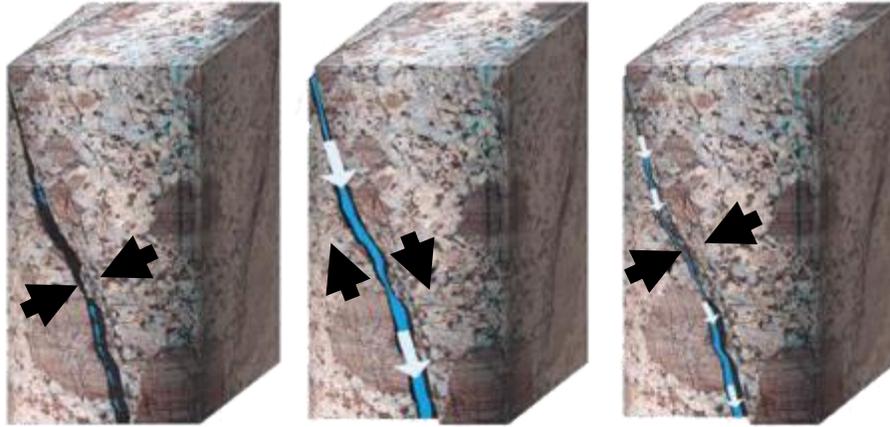
# Exemple de Soultz-sous-Forêts



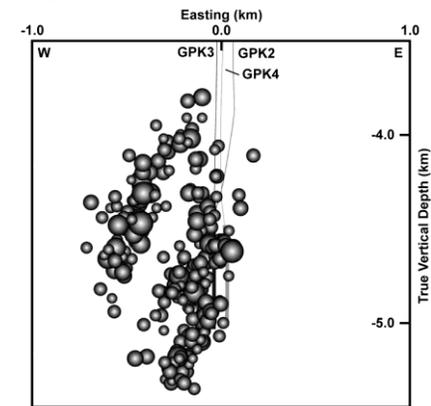
© GEIE Exploitation Minière de la Chaleur / EDIG Heat Mining

- Plusieurs milliers d'évènements pendant chaque stimulation
- Grandes volumes injectés (plusieurs milliers de m<sup>3</sup> à chaque fois)
- Surpressions importantes (+150 à 200bar)
- 4 évènements ressentis, aucun dommage ( $M < 3$ )

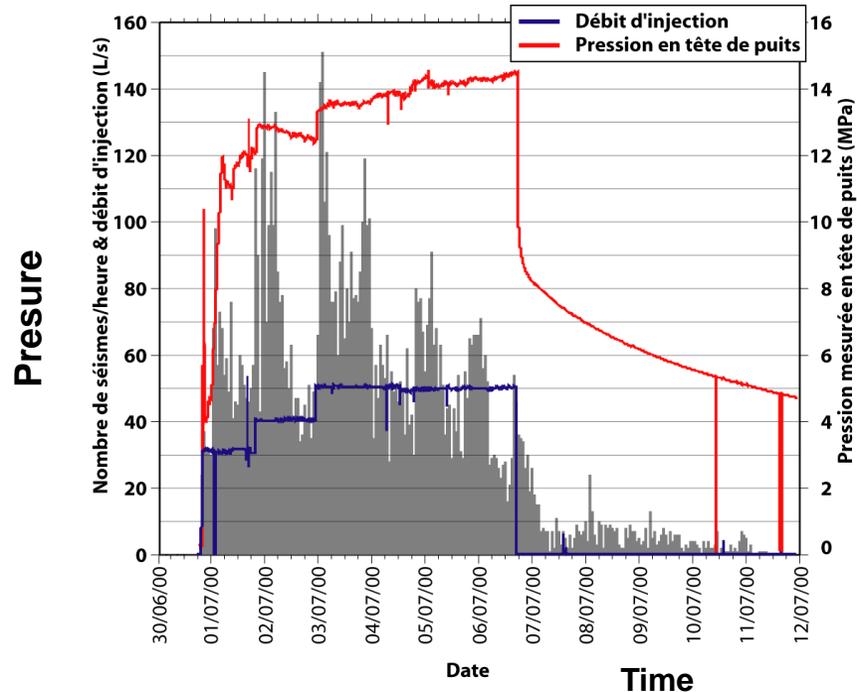
# Exemple de stimulation à Soultz



GPK2, 2000  
 $\mu$ seismic events  $M > 1$



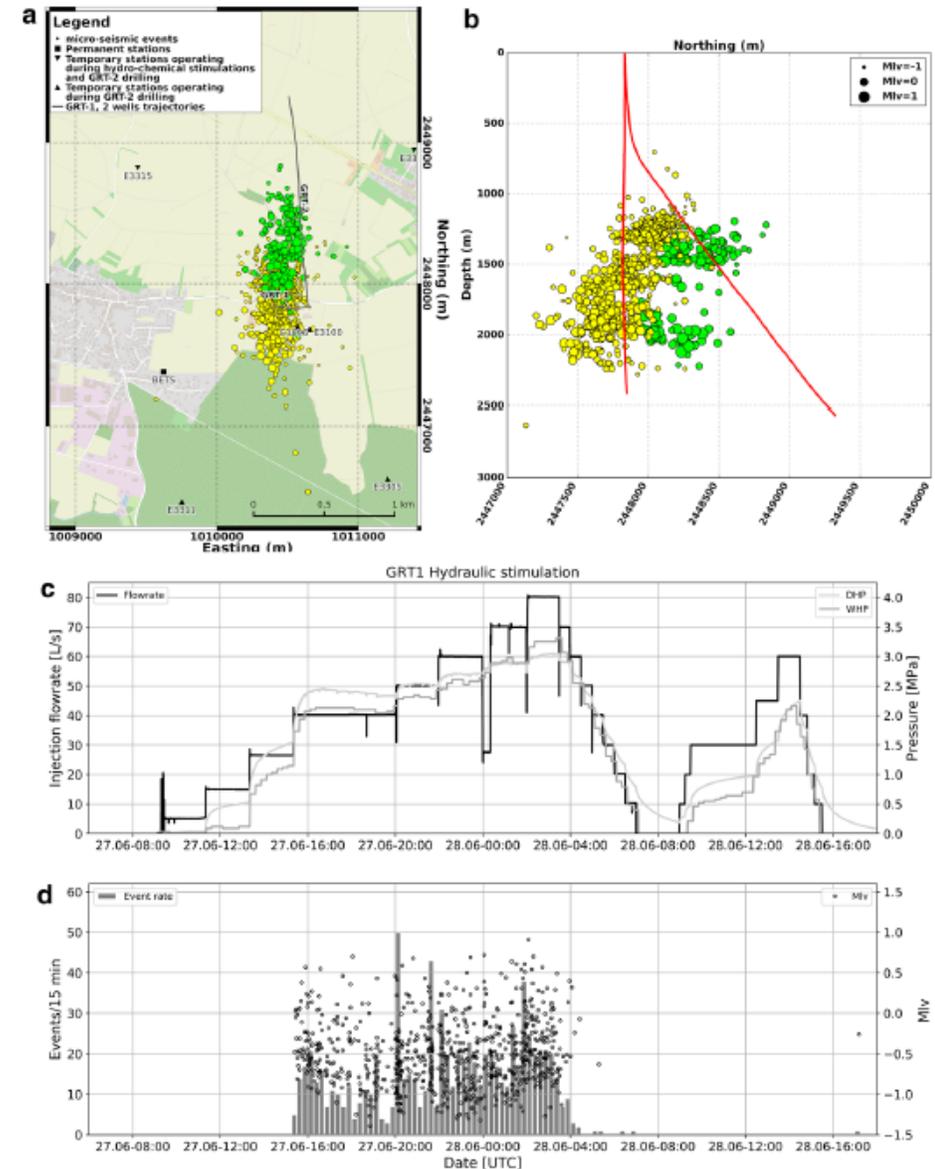
GPK3, 2003  
 $\mu$ seismic events  $M > 1$   
*Dorbath et al., 2009*



*Cuenot et al., 2008*

# Exemple de Rittershoffen (GRT-1)

- **Séquence de test**
- Nettoyage du puits
- Test de production
- Test d'injection bas débit
- Stimulation chimique
- Stimulation (max Q 300 m<sup>3</sup>/h, PWH<40bar)
- Volume injecté : 4000 m<sup>3</sup>
  
- **Sismicité induite**
- 12 stations permanentes + 5 stations temporaires
- 824 événements enregistrés
- Max MLv 1,6 (2 jours après l'arrêt de l'injection)
- Aucun événement ressenti

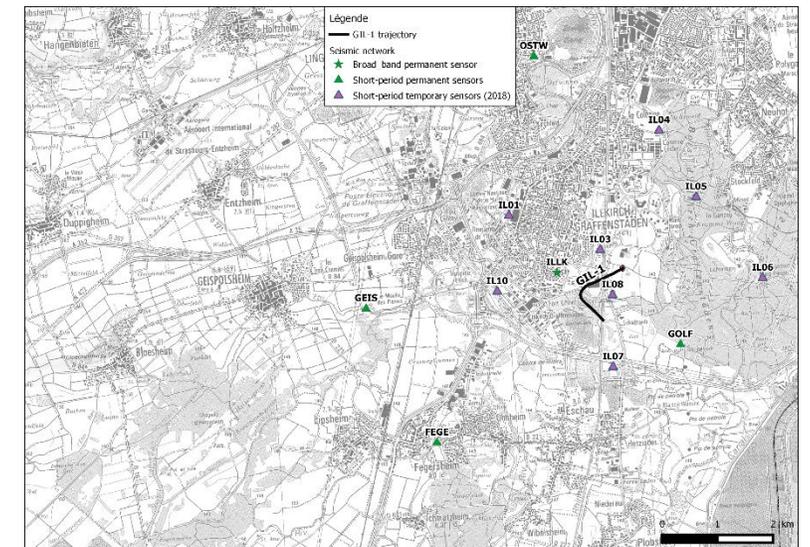
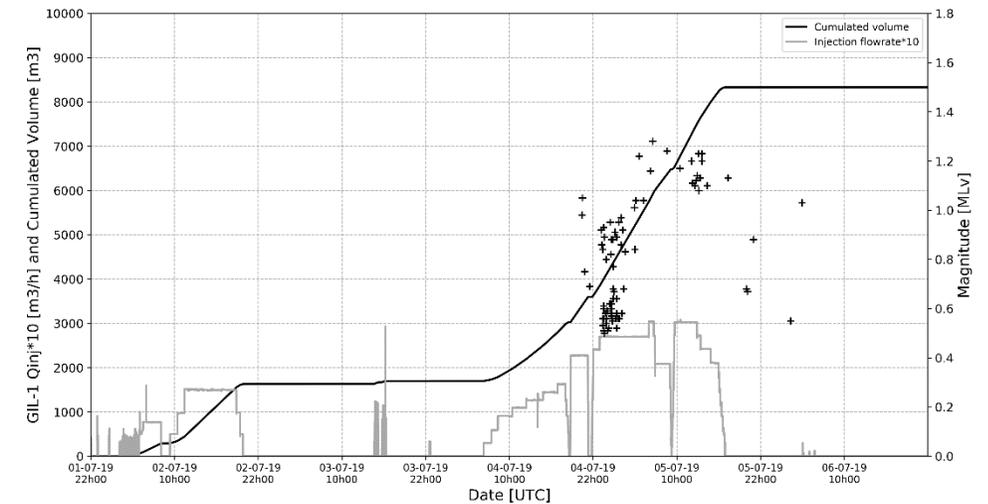


# Exemple d'Ilkirch

- **Séquence de test**
- Nettoyage du puits
- Test de production
- Stimulation (max Q 300 m<sup>3</sup>/h, PWH<100bar)
- Volume total injecté : 8300 m<sup>3</sup>

- **Sismicité induite**

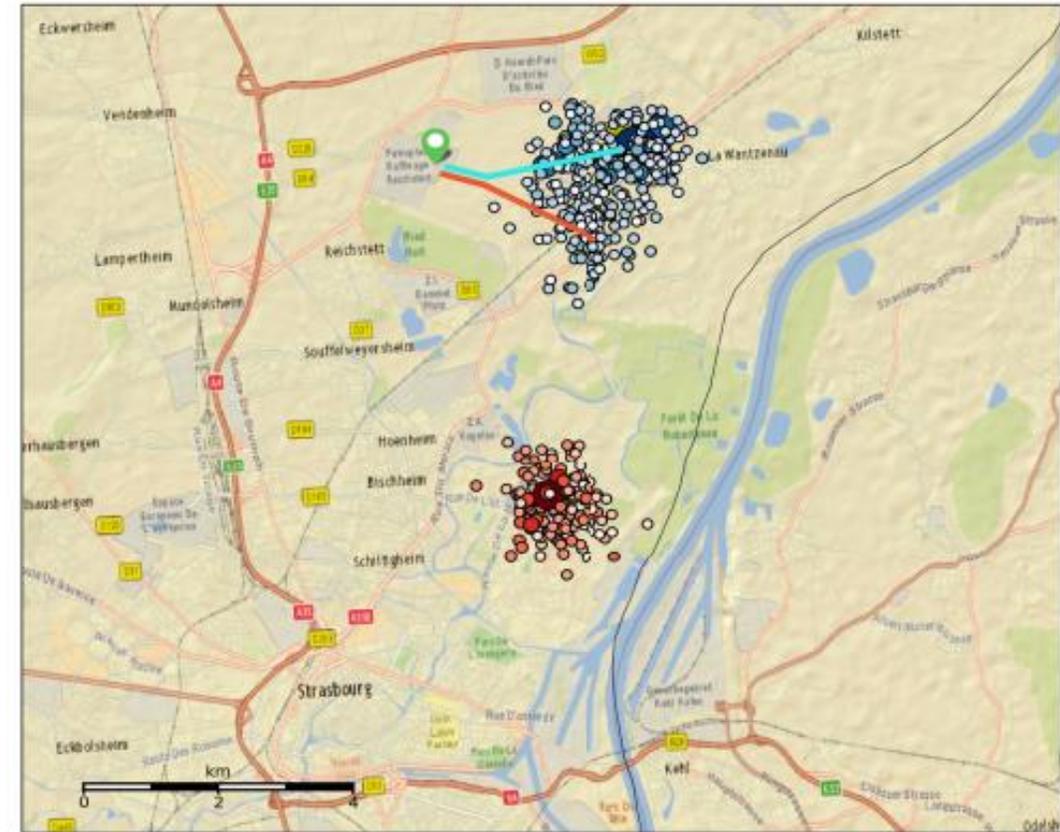
- 5 stations permanentes + 10 stations temporaires
- 82 événements enregistrés
- Max MLv 1,3
- Aucun événement ressenti



# Sismicité à Vendenheim

- Plusieurs centaines d'événements enregistrés
- Max MLv 3,6
- Sismicité épisodique pendant quelques mois
- Plusieurs événements ressentis

2019-2021



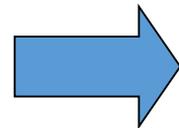
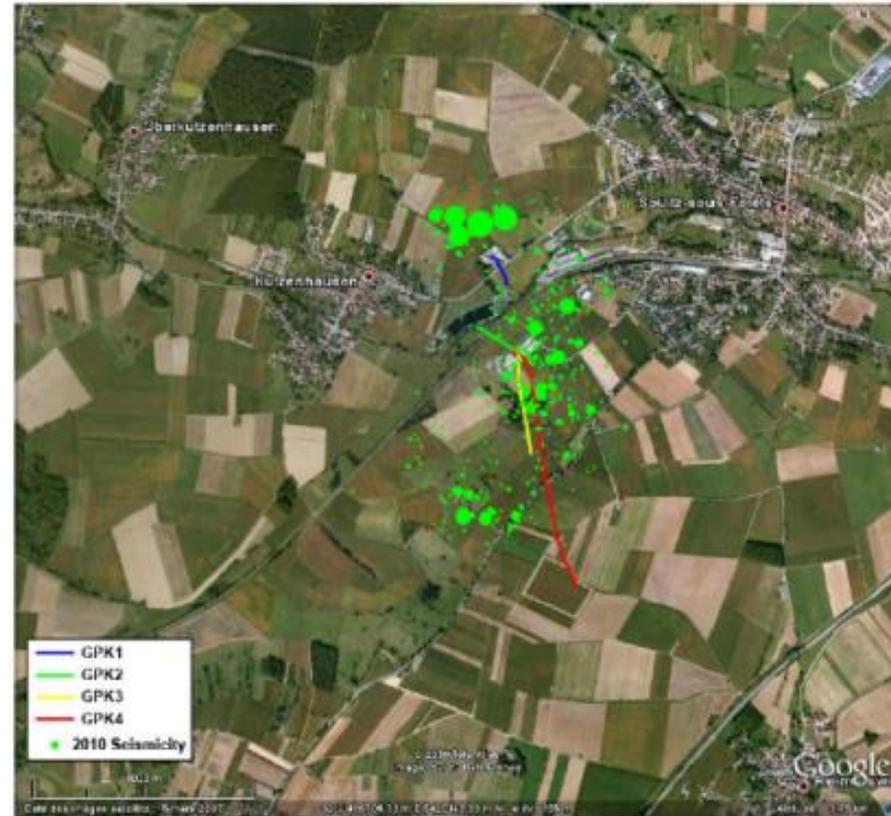
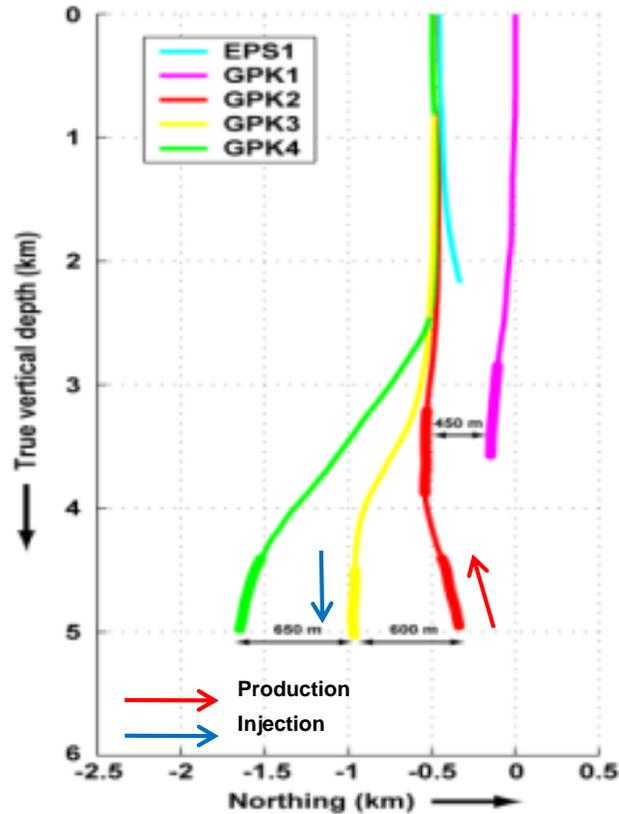
*Schmittbuhl et al, 2021*



# Tests de circulation et sismicité

La sismicité induite générée lors des tests de circulation (après développement et avant opération)

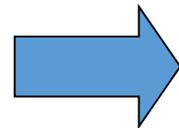
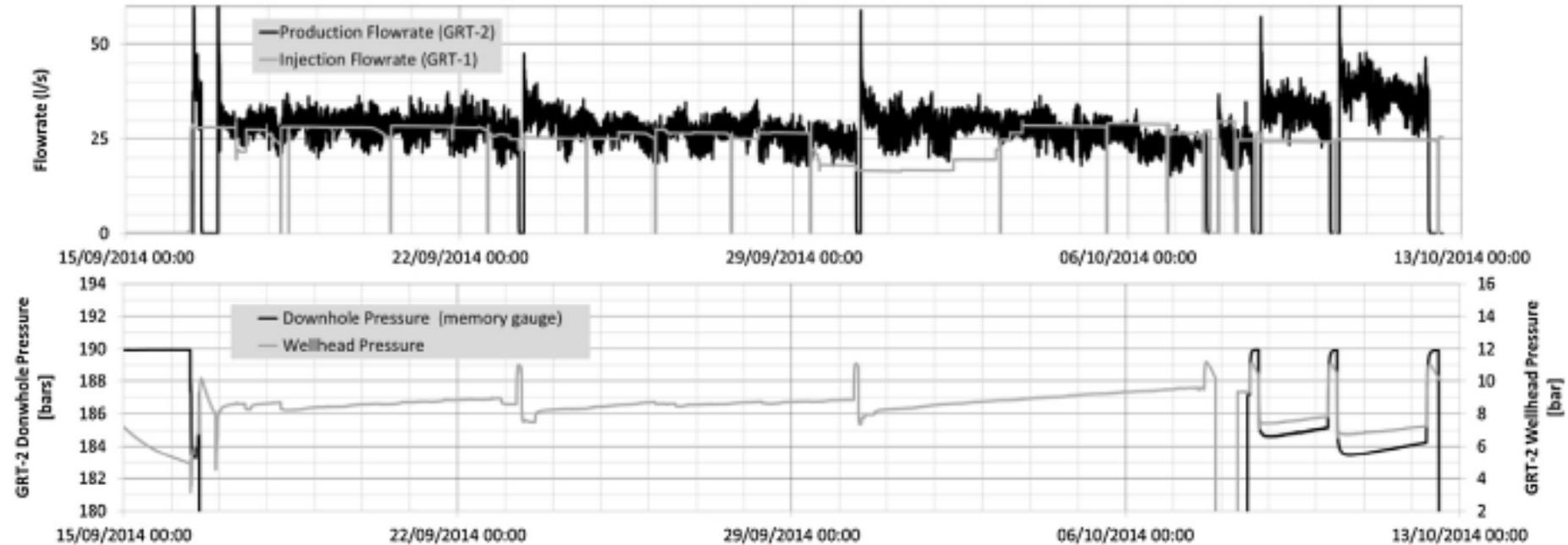
# Test de circulation à Soultz en 2010



**Magnitude maximale 2.3, non ressentie**

**Pressions d'injection > 50 bar**

# Test de circulation à Rittershoffen en 2014



***Pas de sismicité induite***

***Pressions d'injection < 10 bar***



# Exploitation et sismicité

La sismicité induite générée lors de l'exploitation des sites  
exemples de Soultz-sous-Forêts et de Rittershoffen

# Capteurs et seuils pour les vibrations

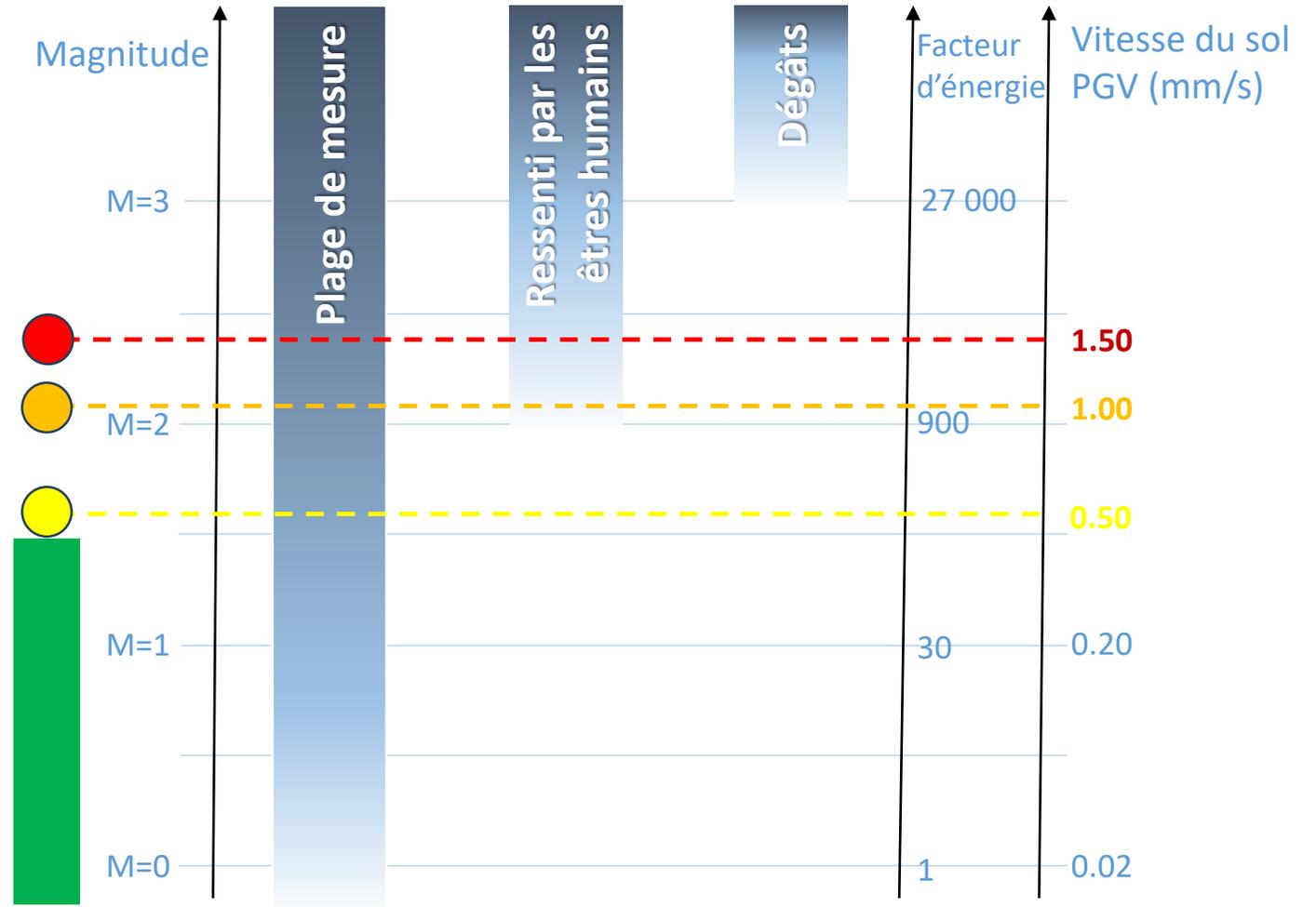


- Réseau de stations sismologiques en temps réel : **4 courtes périodes et 1 station multi-capteurs** (vélocimètre large bande, accéléromètre, GPS, ...)
- Les données de la station multicapteurs sont envoyées à l'Université de Strasbourg au RENASS. Elles sont accessibles.
- Acquisition en temps réel et en continu
- Traitement automatique en temps réel des données pour détecter et localiser les événements
- Envoi d'alertes automatiques
- Relocalisation par un sismologue des événements automatiquement détectés

# Echelle PGV (*Peak Ground Velocity ou vitesse max du sol*)

Consignes d'actions claires (mesurées sur 2 stations) :

- $PGV \geq 1,5 \text{ mm/s}$  : arrêt progressif de la centrale de géothermie
- $1,0 \leq PGV < 1,5 \text{ mm/s}$  : réduction du débit d'injection
- $0,5 \leq PGV < 1,0 \text{ mm/s}$  : surveillance continue par un sismologue
- $PGV \leq 0,5 \text{ mm/s}$  : fonctionnement normal



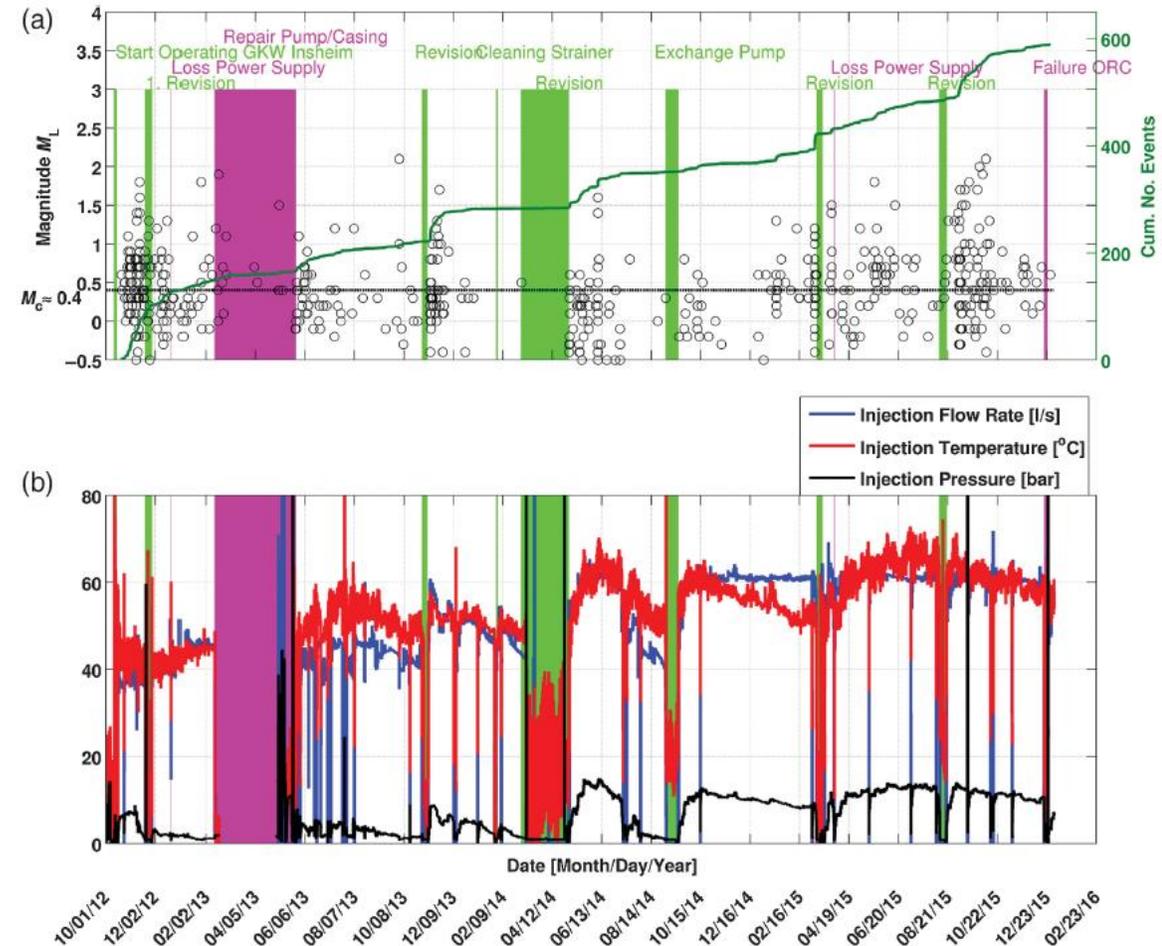
# Exemple d'Insheim

Réseau de 13 stations permanentes +  
15 stations temporaires

Max  $M_L$  2,4

Quelques centaines d'événements en  
tout

Tendance à la décroissance du taux  
avec le temps



*Kueperloch et al, 2018*

# Conclusions générales

- La sismicité induite est principalement liée aux phases de tests/stimulations et à l'exploitation
- Il existe différents mécanismes de déclenchement ; une composante statistique est inhérente au phénomène
- De nombreux paramètres contrôlent l'occurrence de sismicité:
  - Opérationnels (débit d'injection, volume, température)
  - Intrinsèques au réservoir (Pression du réservoir, champ de contrainte, fracturation naturelle, propriétés mécaniques des roches)
  - Il est essentiel de les caractériser lors du forage et des tests
- Il existe des moyens de prévention et de diminution du risque:
  - Réseau de surveillance adapté
  - Injections progressives lors des tests
  - Observation, mesure et calculs d'indicateurs (b-value, Xi-factor)
  - Valider la connexion entre les puits lors des opérations de circulation
  - Modélisations numériques et simulations
  - **Adaptation des opérations en temps réel en fonction du comportement du réservoir et de la sismicité**

# Merci



# **DIVERS**



Pascal Mahon, président de la CSI

# **CONCLUSION**



Pascal Mahon, président de la CSI