



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

# GÉOTHERMIE PROFONDE À HAUTE-SORNE



Commission de suivi et d'information (CSI)

4 septembre 2023

# ORDRE DU JOUR

---

*Invités: Prof. Benoît Valley, UNINE/ médias en fin de séance*

---

- |   |            |
|---|------------|
| 1. Accueil et approbation de l'ordre du jour  | 5'         |
| 2. Adoption du procès-verbal de la séance du 13 juin 2023   | 5'         |
| 3. Informations du bureau et des membres de la CSI  | 25'        |
| 4. Discussion générale et «debriefing»  | 15'        |
| 5. Travaux de la CSI et concept de communication : préparation des séances à venir                        | 20'        |
| <b><i>Pause</i></b>   | <b>15'</b> |
| 6. Première information sur la thématique «Données de forage, tests hydrauliques et tests de stimulation» | 45'        |
| 7. Divers   | 5'         |
| 8. Conclusion   | 5'         |
- 

***Fin de la séance à 19h suivi 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 13 JUIN 2023**



Pascal Mahon, président de la CSI

# **INFORMATIONS DU BUREAU ET DES MEMBRES DE LA CSI**



Pascal Mahon, président de la CSI

## CONFÉRENCE DE PRESSE DU JEUDI 15 JUIN 2023

# «La sécurité est au premier plan du projet»

Tant la Confédération que le canton du Jura continuent de croire au projet de géothermie profonde en Haute-Sorne, lequel se précise toujours davantage. Un comité de patronage visant à améliorer sa gouvernance a été constitué.

Le projet de géothermie profonde en Haute-Sorne avance. Alors qu'il y a un peu plus d'un mois, 1000 personnes ont fait part de leur vive opposition lors d'une manifestation d'envergure à Glovelier, les différentes autorités en charge de l'encadrement du projet avaient convié la presse hier pour un point de situation. Le moment est charnière. Les travaux préparatoires (LQJ d'hier) ont débuté à l'entrée de Glovelier! La construction de la place de forage, prévue à l'automne, approche à grands pas. En outre, l'encadrement institutionnel vient de franchir une nouvelle étape.

**Pas de promoteur**



«Le projet devient réel, concret», a salué Nicole Lupi, de l'Office fédéral de l'énergie, entourée de Pascal Mahon, David Eray et Olivier Français (de gauche à droite).

PHOTO STÉPHANE GERBER



**La concrétisation  
du projet  
de Haute-Sorne**

dans sa tâche par Nathalie Andenmatten, responsable du Service géologique national, et Christian Bréthaut, professeur à l'Institut des Sciences de l'environnement de l'Université de Genève, mais aussi un

solutions sur lesquelles il faut miser pour atteindre les objectifs climatiques et énergétiques de la Suisse. «La concrétisation du projet de Haute-Sorne est cruciale pour atteindre les objectifs de production

d'électricité et de la géothermie dans la stratégie énergétique de la Confédération», a-t-elle complété.

Alors que la défiance d'une partie de la population reste importante, les différentes au-

torités ont multiplié les messages rassurants, expliqué encore l'encadrement du projet et les conditions sécuritaires qui ont été posées, mais aussi relayé les avis des experts. Nicole Lupi a notamment fait savoir que le montant de 90 millions de francs ne tombait pas de nulle part. «Les experts mandatés et indépendants qui ont évalué le projet pour la Confédération ont soulevé sa qualité. Tout est fait, selon eux, de manière sécurisée et avec les meilleures technologies du moment», a-t-elle précisé.

### Encore une décision à prendre

David Eray a insisté sur la sécurité. Selon lui, elle sera au premier plan. Le ministre a rappelé que, pour l'heure, seule la phase exploratoire, laquelle permettra de récolter beaucoup d'informations, était autorisée. «C'est seulement après l'analyse de ces données, impliquant notamment le groupe d'experts indépendants du canton, groupe en cours de constitution, que le Gouvernement décidera de la suite à donner au projet», a-t-il assuré.

**BENJAMIN FLEURY**

QJ, lundi 4 septembre

# MANIFESTATION DU 2 SEPTEMBRE ET SÉANCE D'INFORMATION PUBLIQUE DU 17 AOÛT DE L'ASSOCIATION «CITOYENS RESPONSABLES JURA»

- Environ 200 personnes, présence de membres de la CSI (et du Bureau de la CSI).
- Présentations: par plusieurs membres de l'Association CRJ
- Forte inquiétude de certains participants, notamment qu'un séisme provoque des dommages et que l'indemnisation soit insuffisante. => **Questions écrites 3539 et 3542.**
- Ferveur de l'assistance, en particulier vis-à-vis des thèmes politiques portés par CRJ (question démocratique / mise en place d'un plan spécial) => **Question écrite 3541** et du thème de la «cause jurassienne».
- Minimisation ou méconnaissance du rôle de la CSI.
- Méconnaissance du rôle de suivi du canton et confusion entre le porteur du projet, le Gouvernement et les services cantonaux.
- Peu voire pas de questions en fin de séance mais des interventions de soutiens.
- Propos menaçants à l'égard de l'ensemble des acteurs du projet.

## La colère gronde



**GÉOTHERMIE** Un millier de personnes ont défilé samedi à Delémont contre le projet de géothermie profonde en Haute-Sorne. Les orateurs n'ont laissé aucun doute sur la détermination des opposants.

QJ, lundi 4 septembre

## Articles dans le QJ

## Géothermie profonde: Le MAJ ne s'en mêle pas

Le mouvement autonomiste jurassien (MAJ) ne souhaite pas prendre position sur le projet de géothermie profonde de Haute-Sorne. Dans une mise au point publiée dans le *Jura Libre* d'hier, son président, Laurent Coste, rappelle les objectifs fondamentaux du mouvement: «La lutte en vue d'affranchir le peuple jurassien de la tutelle bernoise.» Le projet de géothermie ne fait donc pas partie de ses buts statutaires, rappelle-t-il. Certains militants se sont étonnés de voir le secrétaire du MAJ, Pierre-André Comte, s'engager avec ferveur aux côtés des opposants au projet de géothermie. «Le mouvement n'a pour eux pas à se mêler de ça, nous avons voulu leur répondre, d'où cette mise au point, détaille Laurent Coste. Nous sommes tout à fait d'accord avec eux, nous n'avons pas à descendre dans l'arène. Le sujet divise les Jurassiens, parfois de manière virulente, mais le MAJ n'a pas à s'en mêler», poursuit son président. Il convenait donc pour lui de dissiper les confusions et de rappeler que Pierre-André Comte est certes secrétaire général du mouvement, «mais aussi député dans un Parlement où il représente ses électeurs et les idées de son parti (n.d.l.r.: le Parti socialiste)». Si le MAJ ne souhaite ni s'investir, ni donner son avis sur le sujet, «ses membres sont en revanche libres de s'engager dans ces débats», rappelle Laurent Coste. Le mouvement a «toujours compté des membres actifs engagés par ailleurs dans des autorités (...). C'est une grande chance que d'avoir ces relais à tous les niveaux et nous ne saurions nous en passer», écrit-il encore dans le *Jura Libre*. Alors que d'aucuns estiment que le projet de géothermie profonde de Haute-Sorne constitue le nouveau combat jurassien, le président du MAJ ne partage pas cet avis. «Ce sont deux choses différentes, estime-t-il. De nombreux militants ne suivent pas ce projet de géothermie», précise encore le Prévôtois. Le MAJ n'a par ailleurs jamais reçu de demandes particulières pour s'engager dans le projet.

QJ, samedi 26 août.

## DISTRICT DE DELÉMONT

PROJET DE GÉOTHERMIE PROFONDE - HAUTE-SORNE

## Le ton monte chez certains opposants qui citent en exemple les années de braises

La première séance d'information de l'association Citoyens responsables Jura a pris des airs de lutte pour la libération, ou plutôt la protection de la population Jurassienne, face au projet de géothermie profonde de Haute-Sorne. Les allusions aux années de braises n'ont pas manqué parmi l'assistance.

«Les préoccupations ne sont plus celles de nos autorités», a commencé Alain Jeangros du comité de l'association Citoyens responsables Jura (CRJ), jeudi dernier à Glovelier, devant plus de 200 personnes, essentiellement des habitants des communes concernées. Cette séance d'information était la première organisée par CRJ depuis sa création.

Des militants motivés



Après le succès de sa première manifestation en mai dernier à Glovelier, l'association Citoyens responsables Jura invite les opposants à la géothermie profonde à manifester le 2 septembre à Delémont.

concernées avaient pu voter contre le projet de place d'armes aux Franches-Montagnes, même le Gouvernement bernois n'avait pas refusé ce un cheval de Troie voué à l'échec. «C'est un déni de démocratie aux dépens de la population, des eaux et des finances et Jean-Pierre Chenal, membre de la Commission de gestion des eaux de Haute-Sorne, conseiller général (PS Vert.e.s).

Se basant sur le plan de gestion des eaux de la commune, ce dernier estime que Haute-Sorne pourrait seulement fournir 1000 m<sup>3</sup> d'eau par jour de son réseau à la géothermie qui en demande 4300 m<sup>3</sup> par jour pendant la période de forage. système de ce cours d'eau. Il faut choisir entre la préservation de l'eau ou l'électricité, a-t-il terminé.

Une bombe à retardement

La crainte des tremblements de terre provoqués par le projet inquiète également l'assistance. «Un récent séisme de 4,8 en France a provoqué 300 millions de dégâts, alors que l'assurance des promoteurs ne couvre que 100 millions de francs», s'est étonné Jack Aubry, président de CRJ. Selon lui, le projet de géothermie de Glovelier est mal géré, pas professionnel et antidémocratique. «On n'a pas le droit de nous l'imposer», a-t-il lancé, avant de conclure: «On veut nous placer une bombe à retardement. Le peuple jurassien ne veut pas de ce projet et il sait se faire entendre!» THIERRY BÉDAT

QJ, mercredi 23 août.

# **Retour d'expérience sur les projets américains de Utah-FORGE et de Fervo Energy**

Peter Meier, PDG, Geo-Energie Suisse



# Le développement des systèmes géothermiques stimulés (EGS) est piloté par le DOE américain en tant que technologie clé => Enhanced Geothermal Shot 11.05.2023 (Durée du webinaire 5,5 heures)

Zoom Webinar

— □ ×



Lauren Boyd

Aufnahme



## Introduction to the Enhanced Geothermal Shot™ and GTO Initiatives to Support It

Lauren Boyd

Acting Director, Geothermal Technologies Office (GTO)

U.S. Department of Energy

1

# Le développement des systèmes géothermiques stimulés (EGS) est piloté par le DOE américain en tant que technologie clé => Enhanced Geothermal Shot 11.05.2023 (Durée du webinaire 5,5 heures)

Zoom Webinar

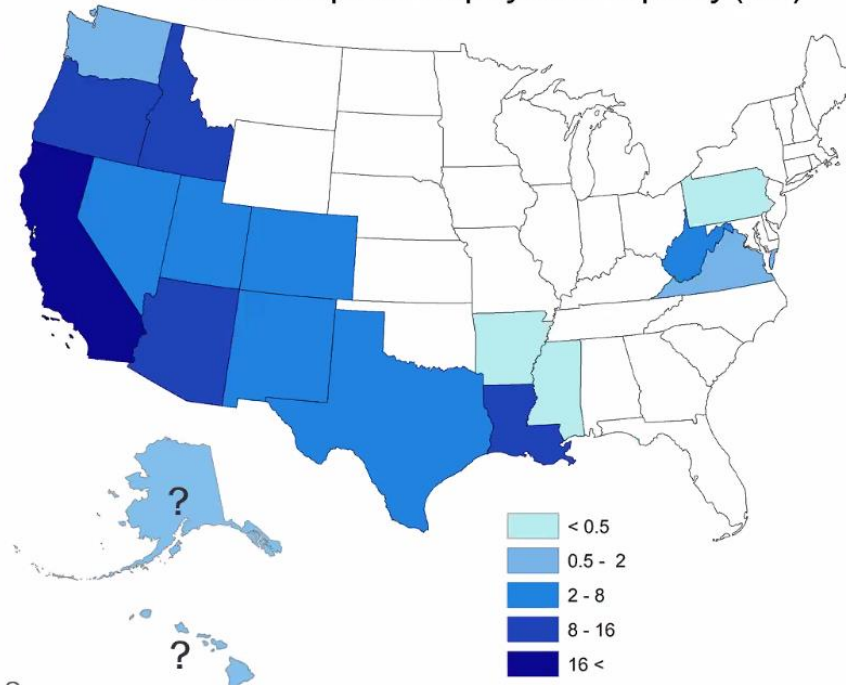


Lauren Boyd

Aufnahme

## Who Benefits Across the U.S.?

2050 Deep EGS Deployment Capacity (GW)



90 GWe by 2050



Nationwide expansion of EGS for power



Clean heating & cooling for up to 45 million U.S. households



Drives just transition & leverages skilled fossil fuel workers



6

# Le développement des systèmes géothermiques stimulés (EGS) est piloté par le DOE américain en tant que technologie clé => Enhanced Geothermal Shot 11.05.2023 (Durée du webinaire 5,5 heures)

Zoom Webinar

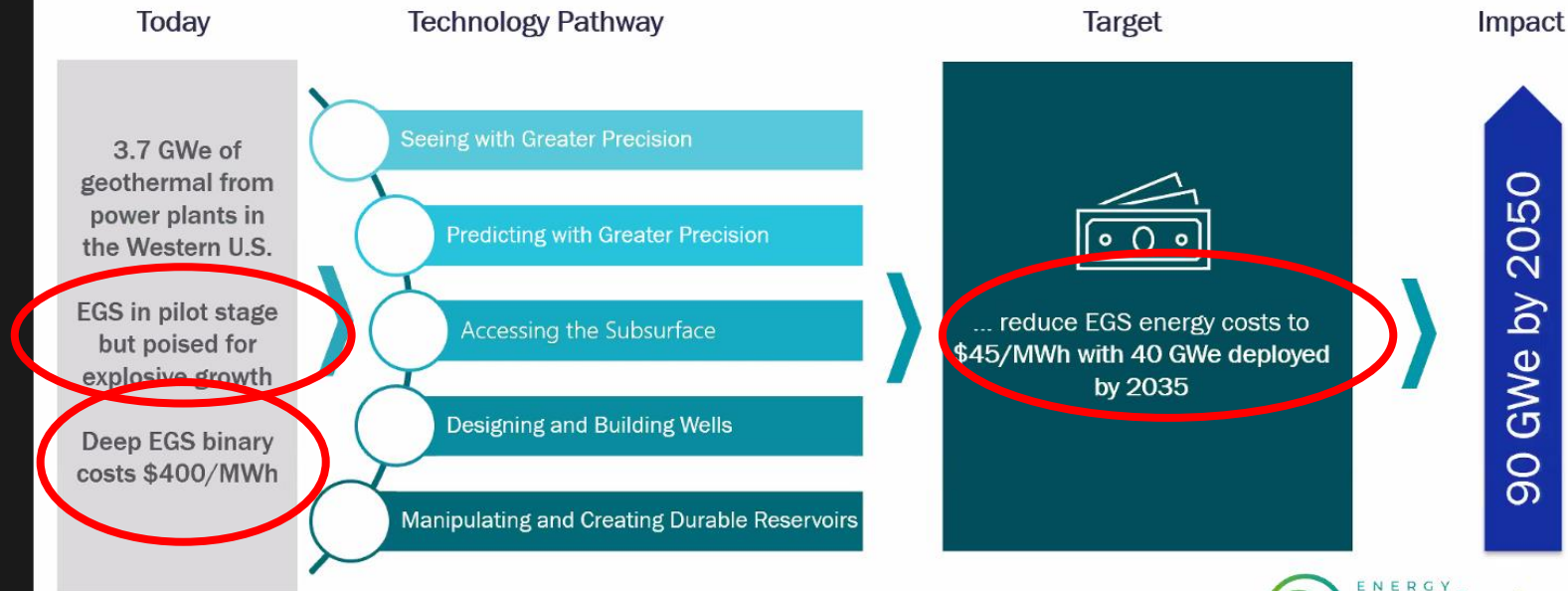


Lauren Boyd

Aufnahme

## Enhanced Geothermal Shot™ Summary

Pathways to unlock Earth's nearly inexhaustible heat resources for dispatchable, high-value, baseload power



8



# Stimulation hydraulique Utah April 2022

- ❑ Max. Magnitude 0.5 (vs. Basel 3.4)
- ❑ Max P env. 480 bar (vs. Basel env. 300 bar)
- ❑ Max débit d'injection 92 l/s (vs. Basel ca. 58 l/s)
- ❑ Vol. 480 m3 (vs. Basel ca. 12'000 m3)



# UTAH FORGE Surveillance de la stimulation par Geo-Energie Suisse AG



Surveillance sismique de la stimulation en avril 2022



Hydro test (1er juin 2023) pour déterminer la perméabilité après stimulation,

<https://www.youtube.com/watch?v=a7z18dAGqM&feature=youtu.be>

<https://www.youtube.com/watch?v=NPZsNGOI5J8>

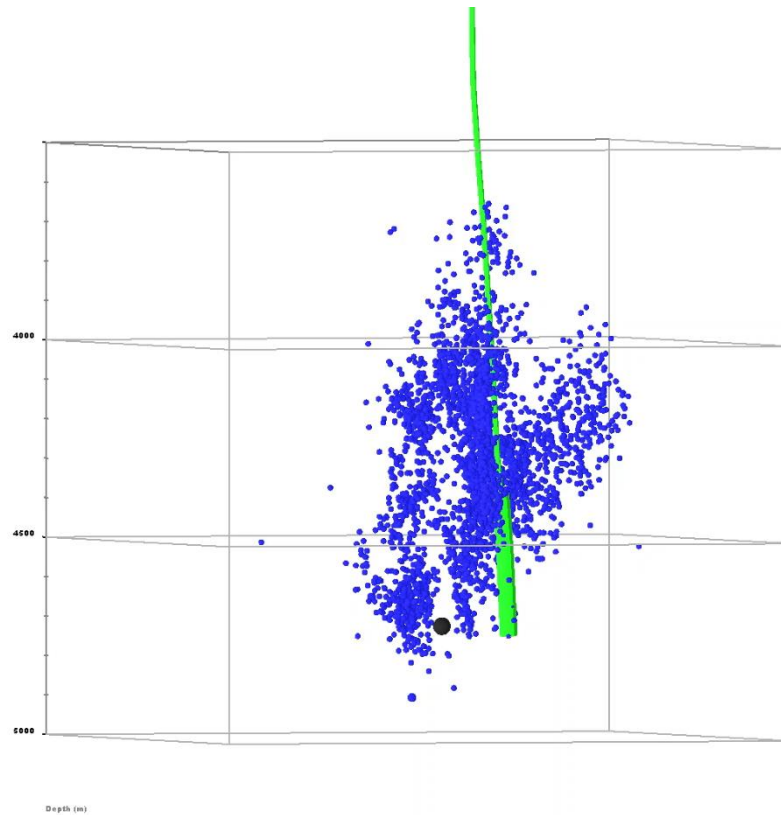
# Comparaison Bâle - Utah

## Basel BS1 Stimulation

12'000 m<sup>3</sup>

M = 3.4

Transmissivité: 5E-6 bis 1E-5 m<sup>2</sup>/s

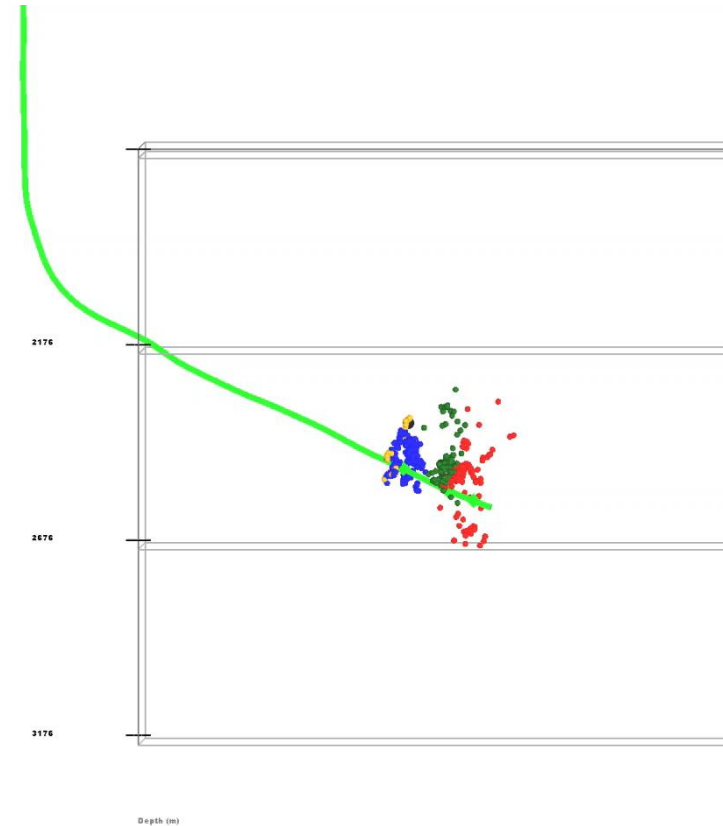


## Utah-FORGE 16A Stimulation

500 m<sup>3</sup> par section

M = 0.5

Transmissivité: ca. 1E-5 m<sup>2</sup>/s



# Fervo Energy a de grands projets



- ❑ **La technologie fonctionne au Nevada (opération de test mai 2023)**
- ❑ **FERVO fore à environ 1 km de FORGE**
- ❑ **T1 2024 : 4 forages, + stimulation**
- ❑ **T4 2024 : jusqu'à 11 forages, + stimulation**
- ❑ **2025 – 2026 : 30 – 100 forages, + stimulation**
- ❑ **2027/28: Centrale ORC d'environ 50 à 175 MWel**

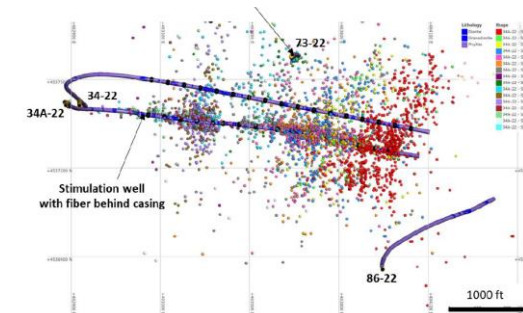
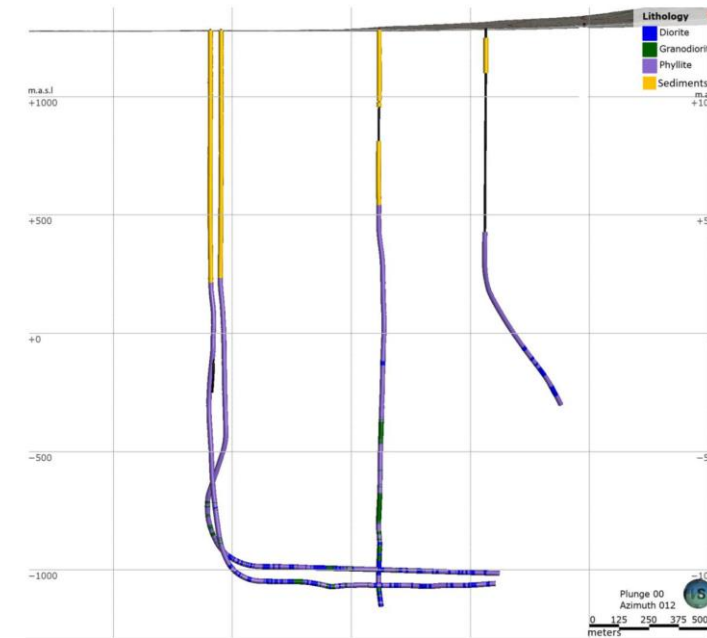


# FERVO Nevada: Le premier système EGS commercial au monde à plusieurs étapes de stimulation (12-16) sera bientôt connecté au réseau avec environ 3 MW électrique (environ 30 MW thermique)



Norbeck et al., 2023

Norbeck et al.





# FERVO Test de circulation en Mai 2023, env. 30 MW thermique



# Protocoles de fissures – Etat des travaux

Olivier Zingg, chef de projet Suisse romande,  
Geo-Energie Suisse

## Protocoles de fissures – état au 31.08.2023

- Env. 2700 conventions envoyées
- Env. 1470 conventions retournées (54%)
- Cela représente environ : 1412 parcelles  
pour 1700 bâtiments
  
- Bassecourt sera entièrement relevé d'ici fin décembre 2023
- Le solde de Boécourt et Glovelier, ainsi que les localités restantes seront effectuées entre janvier et mars 2024

# **DISCUSSION GÉNÉRALE ET «DEBRIEFING»**



Pascal Mahon, président de la CSI

# **TRAVAUX DE LA CSI ET CONCEPT DE COMMUNICATION : PRÉPARATION DES SÉANCES À VENIR**



Pascal Mahon, président de la CSI

# SÉANCES D'AUTOMNE : CALENDRIER

---

## ■ Séance 8<sup>o</sup> : Lundi 9 octobre 2023 à 16h45 (Halle de gym de l'école primaire de Bassecourt) ¶

Thèmes à aborder (proposition) ° ¶

- → Sismicité et instruments de haute précision ° l'expérience du CERN. ¶
- → Résultats des travaux à Bedretto / Utah Forge / autres projets. ¶

Intervenants ° ¶

- → Michael Guinchard (CERN) ¶
- → Olivier Zingg (Geo-Energie) ¶

## ■ Séance 9<sup>o</sup> : Jeudi 9 novembre 2023, de 19h00 à 21h30, séance de la CSI ouverte au public, Halle de gym de l'école primaire, Bassecourt. ¶

Programme ° : Projet de géothermie profonde de Haute-Sorne ° : risques associés au forage d'exploration et à la stimulation hydraulique et leur gestion. ¶

## ■ Séance 10<sup>o</sup> : Jeudi 14 décembre 2023 à 16h45 (Aula de l'école primaire de Bassecourt) ¶

Thèmes à aborder (propositions) ° ¶

- → Deuxième information sur la thématique « °Suivi environnemental de réalisation ° » (sites pollués / transport et gestion des déchets) ¶
- → Première information sur la thématique « °Processus de stimulation hydraulique et création/amélioration d'un réservoir en profondeur ° » ¶

Intervenants ° ¶

- → Jean Fernex (RCJU) ¶
- → Olivier Zingg (Geo-Energie) ¶
- → Prof. Brice Lecampion (EPFL) ¶

# SÉANCES DU 9 NOVEMBRE : PROPOSITION DE PROGRAMME

---

*Comprendre les risques associés au forage d'exploration et à la stimulation hydraulique et leur gestion*

## **Introduction**

Ouverture // 10 min // Pascal Mahon

Présentation des travaux de la CSI // 2-4 min par sujet // Bureau de la CSI

- Risque sismique
- Etablissement des preuves et assurances
- Aménagement du site de forage et forage d'exploration
- Gestion du bruit
- Suivi environnemental de réalisation
- Géologie et campagnes de mesures géophysiques
- Données de forage, tests hydrauliques et tests de stimulation

Conclusions, rappel du rôle de la CSI, des règles de bienséance et introduction à la première présentation // 5 min // Pascal Mahon

**Première présentation** // 20 min + 10 min // Vincent Geyl (Quartic)

Les grandes étapes d'un forage exploratoire, de sa réalisation à son abandon : quelles mesures peuvent être prises pour assurer l'intégrité de l'ouvrage ?

**Deuxième présentation** // 20 min + 10 min // Philippe Roth (SED)

Les tremblements de terre : échelle de magnitude, risques et mesures de prévention.

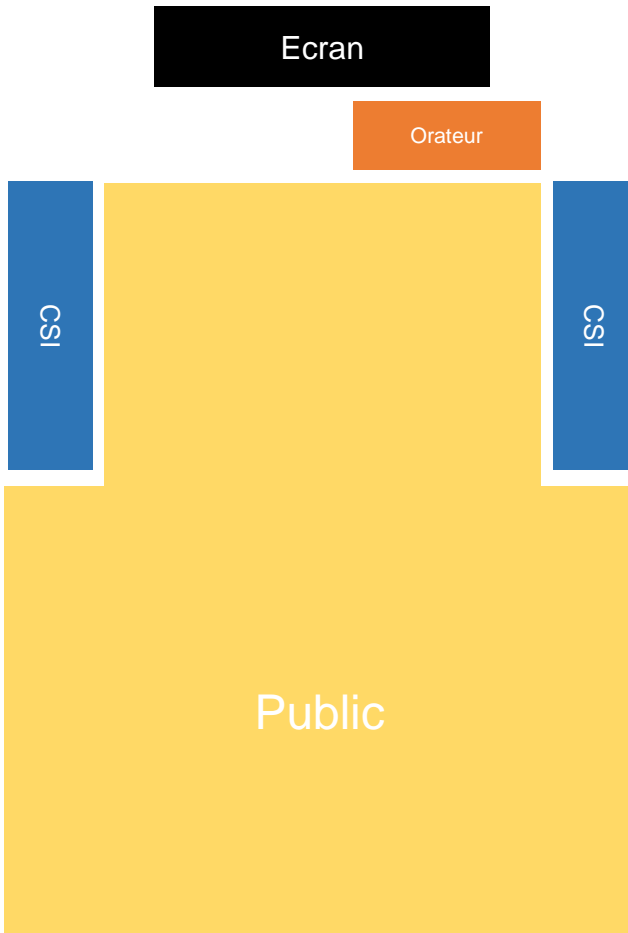
**Troisième présentation** // 20 min + 10 min // Thomas Kohl (KIT)

Stimulation hydraulique : principe, rôle et gestion

**Echanges et discussions**

# SÉANCES DU 9 NOVEMBRE : PROPOSITION DE PROGRAMME

## Plan de la salle



## Organisation

Horaires : 19h à 21h30

Lieu : Halle de gym de l'école primaire de Bassecourt

Technicien

Enregistrement

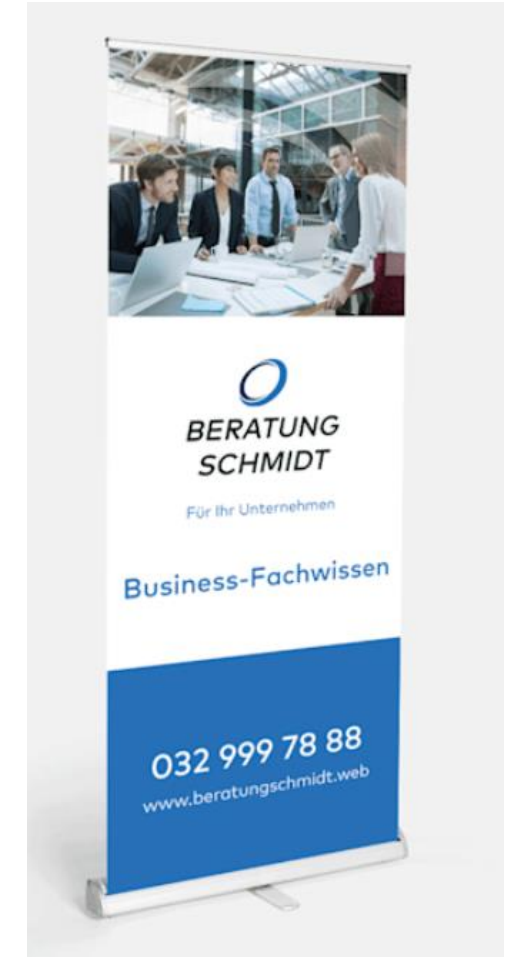
Inscriptions

Eau

Communiqué de presse / invitation

Canaux de diffusion

## Élément de communication





**PAUSE DE 15 MINUTES**



**PREMIÈRE INFORMATION SUR LA THÉMATIQUE**  
**" DONNÉES DE FORAGE, TESTS HYDRAULIQUES ET**  
**TESTS DE STIMULATION "**

---

Olivier Zingg, chef de projet Suisse romande,  
Geo-Energie Suisse

Peter Meier, PDG, Geo-Energie Suisse

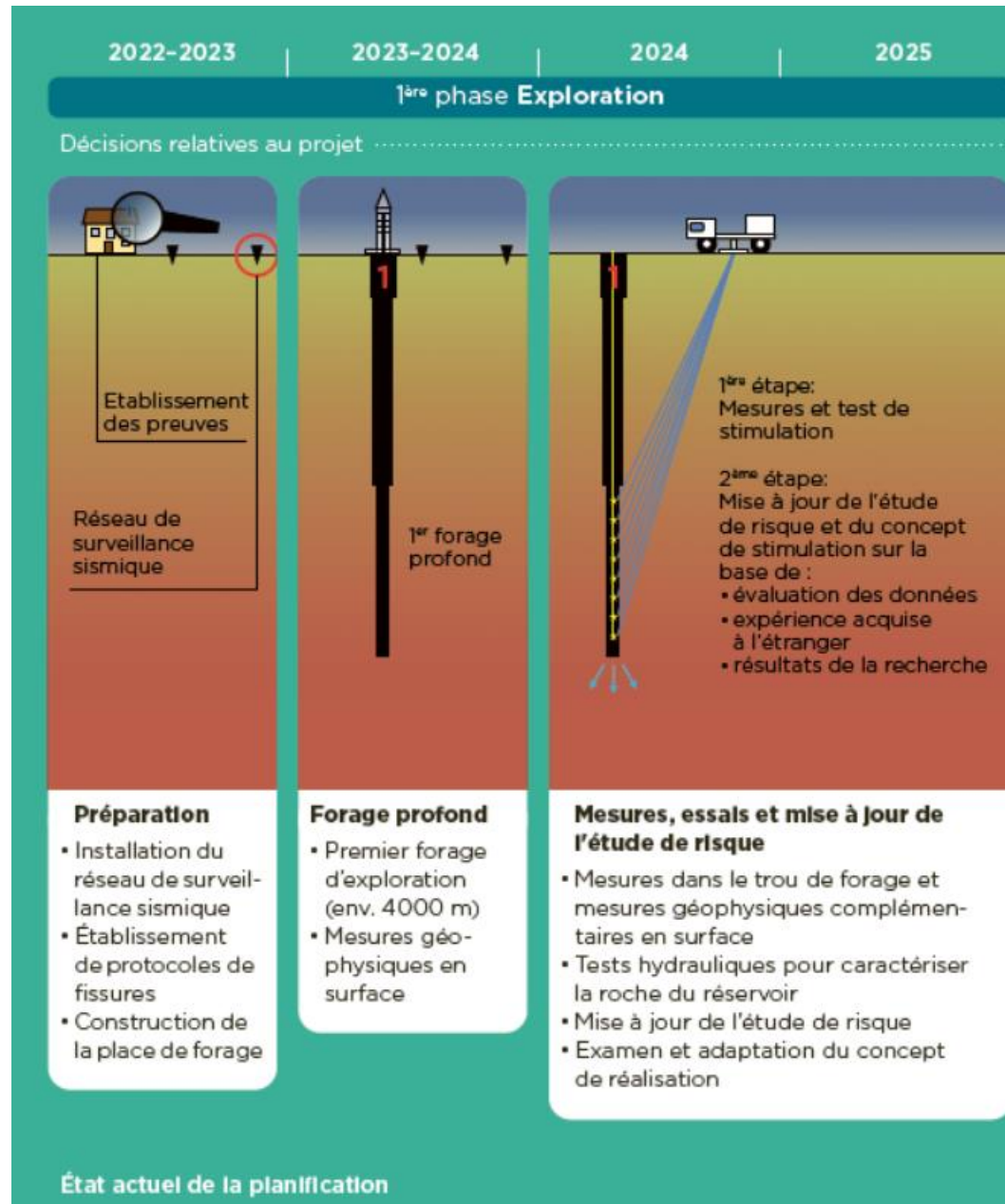
# Le projet de géothermie de Haute-Sorne

Séance 7/2023 de la Commission de Suivi et d'Information (CSI)  
4 septembre, 2023 Bassecourt

Dr. Peter Meier, CEO Geo-Energie Suisse AG  
Olivier Zingg, Chef de projet



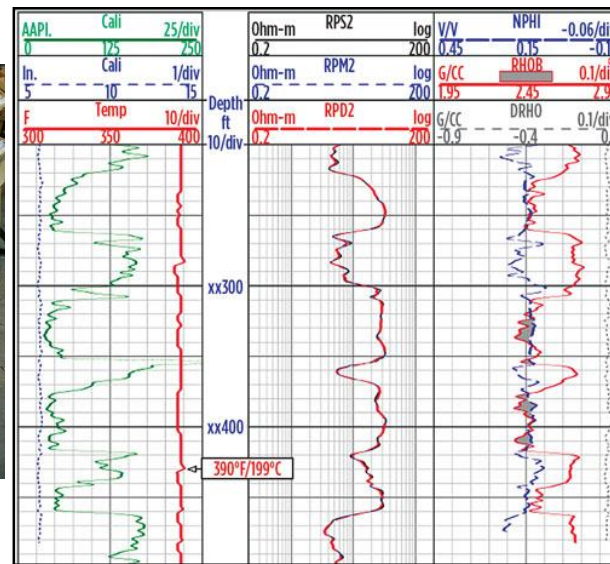
# Mesures et relevés dans le forage d'exploration, tests hydrauliques et tests de stimulation



Des mesures et relevés seront réalisés tout au long de la progression du forage (mudlogging), à la fin de chaque section (diagraphies) et une fois le forage terminé, tubé et cimenté (tests de stimulation)

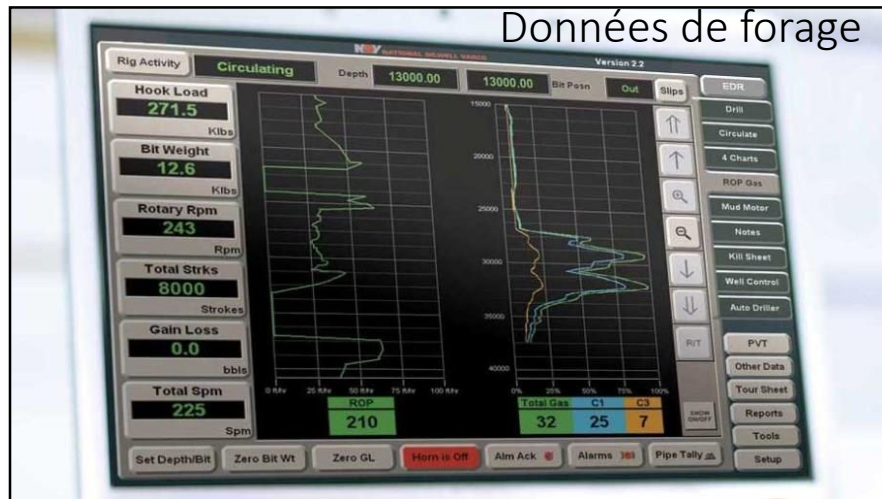
# Le forage offre 4 grandes catégories des données

1. Paramètres du forage (diagraphies instantanées)
  2. Déblais de forage (*cuttings*)
  3. Diagraphies (diagraphies différées, *wireline logging*)
  4. Carottes
- } Mudlogging



# Mudlogging (données en cours de forage)

- Paramètres du forage (diagraphies instantanées):
  - Mesurer et enregistrer une ou plusieurs grandeurs physiques pendant le forage en fonction de la profondeur.
  - Vitesse d'avancement (*ROP*), couple de rotation, pression d'eau, poussée, vitesse de rotation des tiges, etc.
  - Ces paramètres renseignent notamment sur la géologie traversée durant la progression du forage.



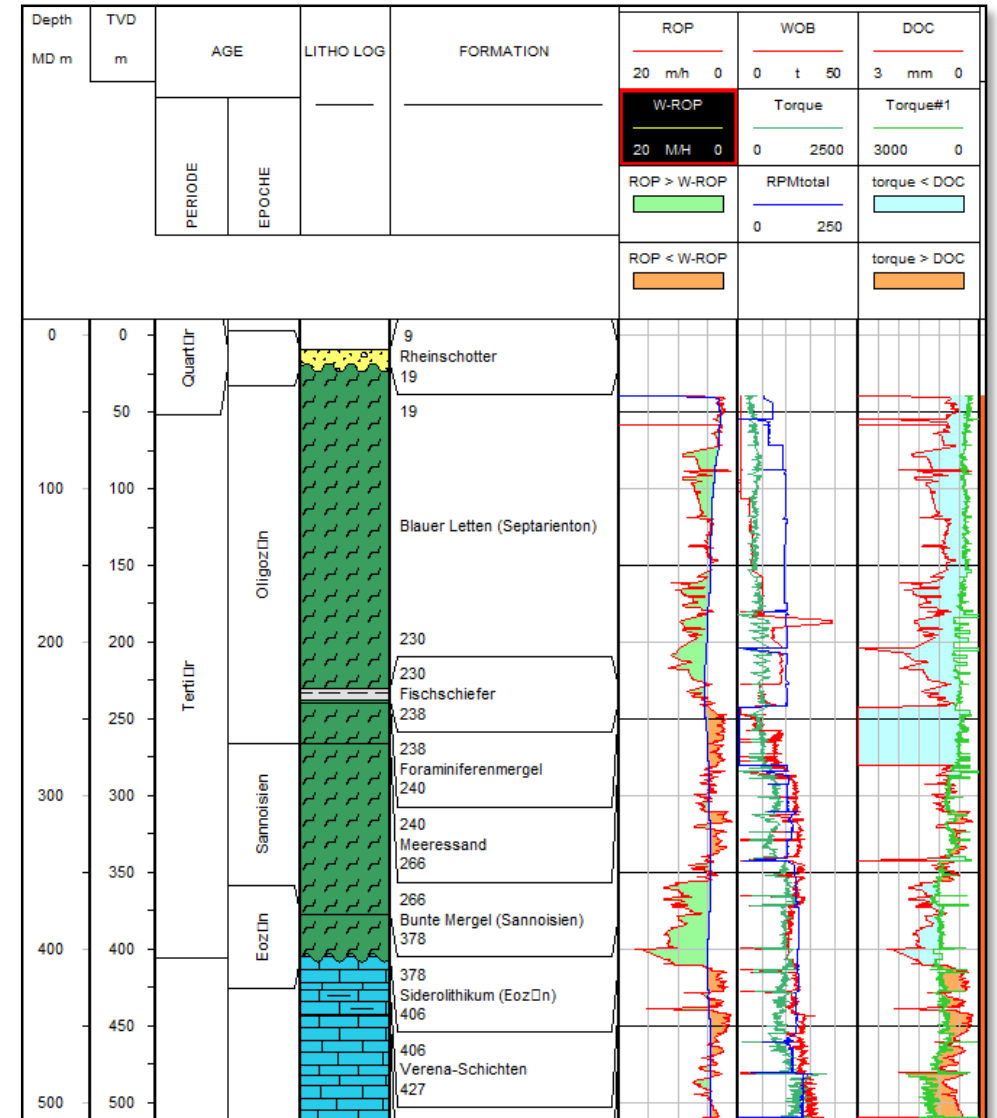
# Mudlogging (données en cours de forage)

- Déblais de forage (*cuttings*):
  - Fragments de roche excavé lors de l'opération de forage
  - Ces fragments remontent à la surface à l'aide de la boue de forage.
  - Les déblais sont décrits et analysés sur le site de forage dans l'unité de mudlogging.



# Mudlogging (données en cours de forage)

- Intégration déblais + paramètres de forage permet de:
  - Connaitre la composition stratigraphique du puits.
  - Evaluer la performance du forage.
  - Planifier et optimiser les sections/forages futures.
- Des failles importantes peuvent également être identifiées grâce aux déblais de forage à cause de leur composition et de leur structure particulière.

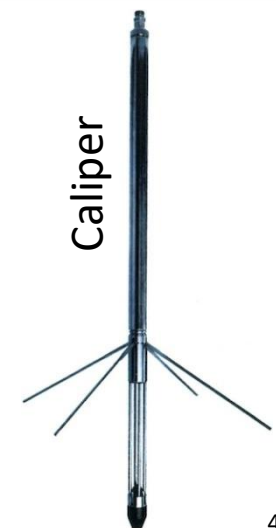
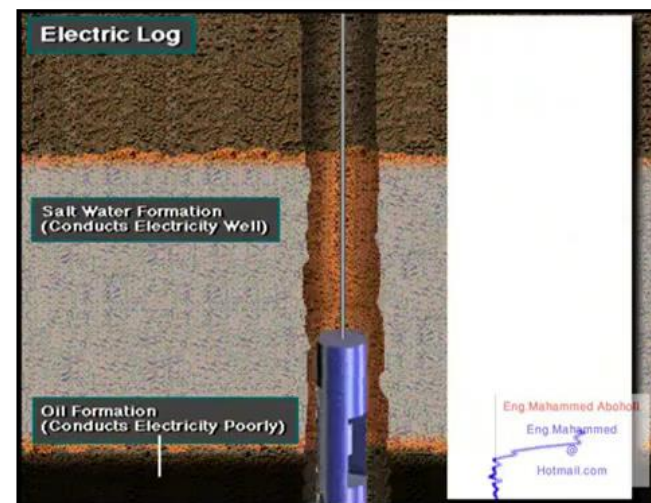
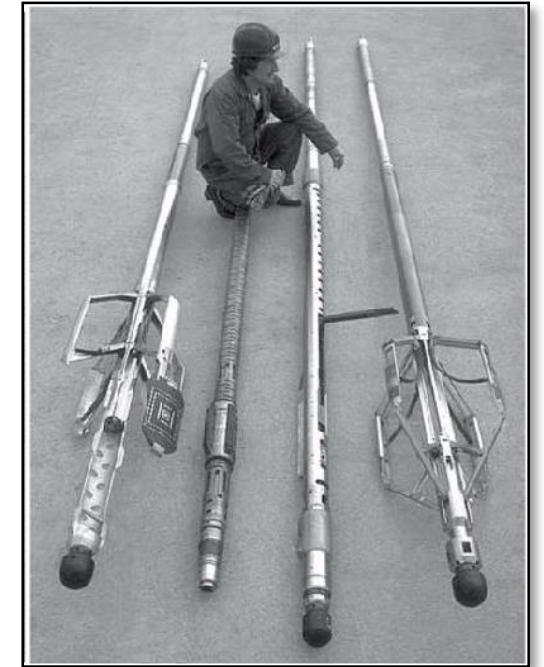


Exemple: Forage Basel-1

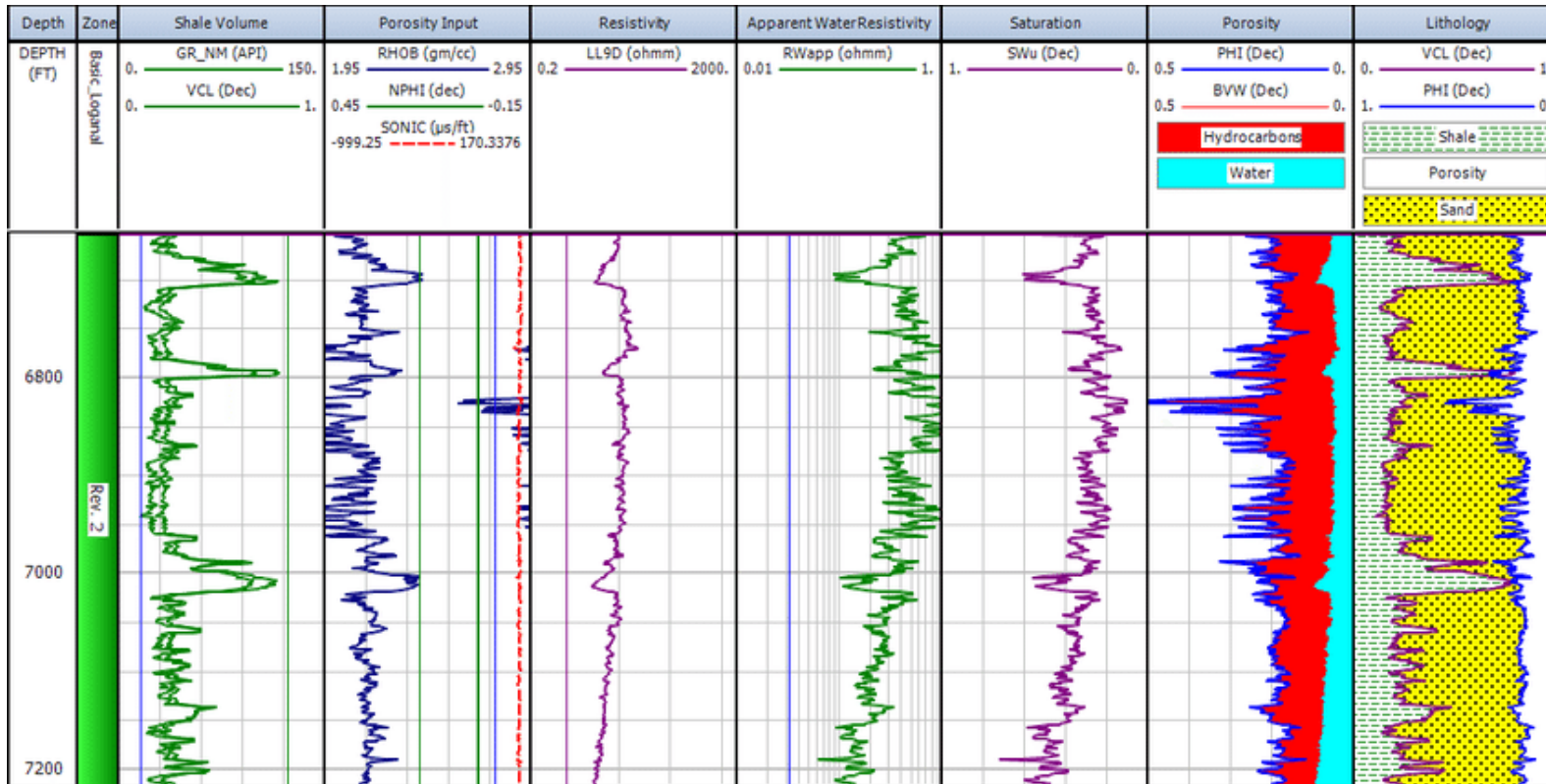


# Diagraphies (wireline logging)

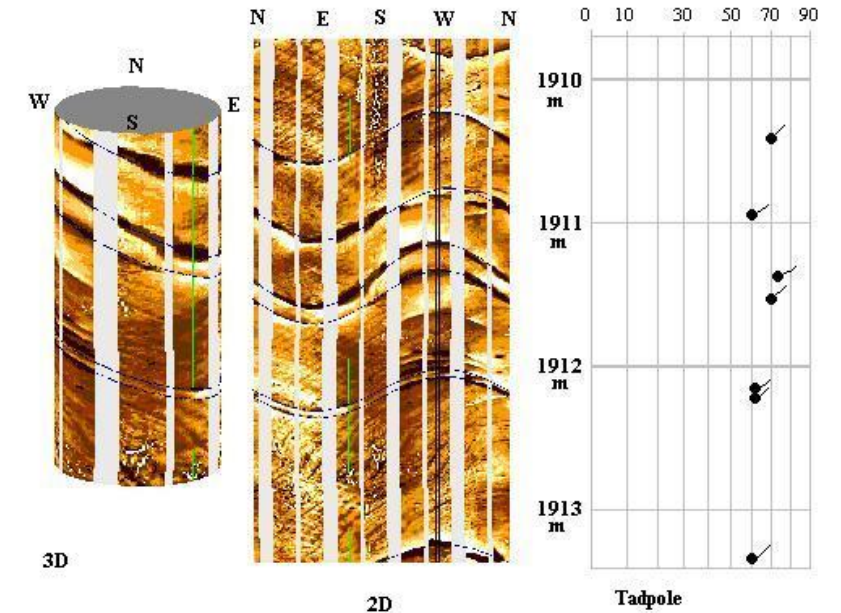
- Mesurées lorsque les opérations de forages sont arrêtées (ex. changement de section).
- Les outils de mesure sont descendus à l'aide d'un câble (wireline).
- Paramètres physiques des roches:
  - Radioactivité naturelle,
  - potentiel électrique naturel,
  - conductivité électrique,
  - vitesse de propagation d'ondes acoustiques,
  - densité, etc
- La géométrie du forage.
- Images de la paroi.



# Diagraphies (wireline logging)



Exemple de représentation combinée de diagraphies pour analyse géologique

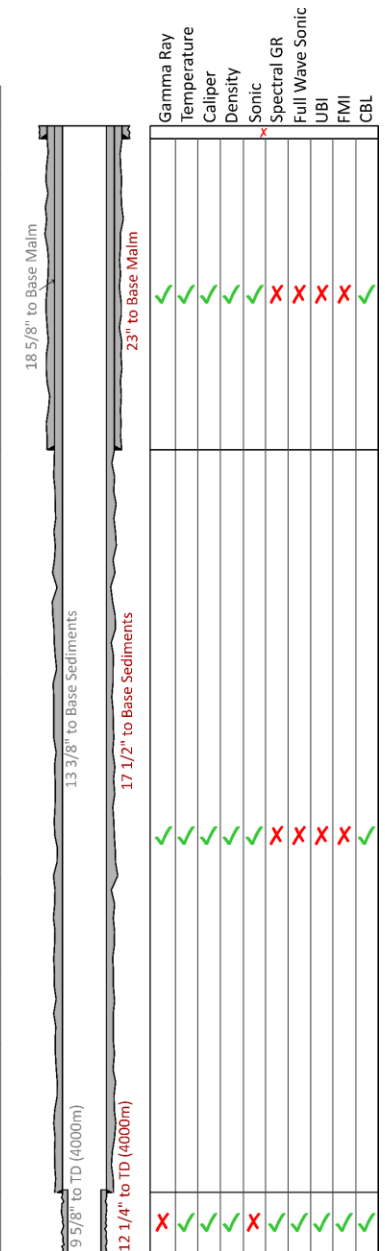


Diagraphie donnant une image de la paroi du forage et permettant d'identifier des fractures

# Programme de mesures pour le forage d'exploration de Haute-Sorne (état actuel de la planification)

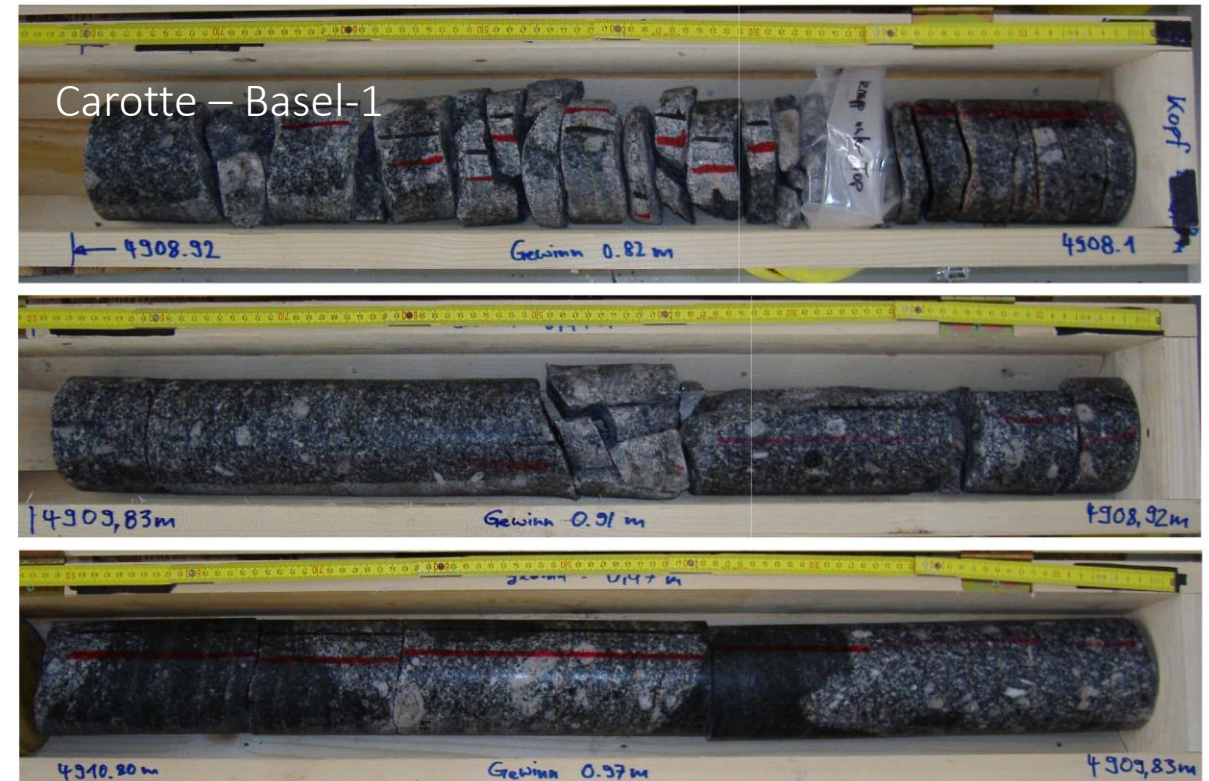
| Hole size | Geology                       | Logging   |
|-----------|-------------------------------|---|
| --        | Quaternary                    | ---   |
| 23"       | Tertiary + Malm               | Gamma Ray, Temperature, Caliper, Density, Sonic + Cased hole logging  |
| 17 1/2"   | Dogger + Lias + Triassic + PC | Gamma Ray, Temperature, Caliper, Density, Sonic + Cased hole logging  |
| 12 1/4"   | Crystalline Basement          | Temperature measurement for 3 days, Spectral Gamma Ray, Caliper, Density, Sonic with FULL wave,<br>UBI (ultra-sonic borehole imager) OR FMI (Formation micro-resistivity Imager) OR ARI (Azimuthal resistivity imager) + Cement bond log to determine the top of cement |

| Era       | Period   | Series        | NW Europe Names | Formation           | Litho-stratigraphy   | Lithology  | Thickness [m]  | Depth  |
|-----------|----------|---------------|-----------------|---------------------|--|--|----------------|--------|
| Mesozoic  | Jurassic | Upper         | Malm            | Quaternary          | Quaternary   | Alluvions, sands, clays and conglomerates  | 72±9           | 72±9   |
|           |          |               |                 | Volant / Coigny     | Volant / Coigny  | Limestones, locally argillaceous.  |                | 72±9   |
|           |          |               |                 | St. Ursanne         | St. Ursanne  | Oncolites in the Hauptmalmienbank Member   |                | 397±28 |
|           |          |               |                 |                     |  | Limestones, with oncolites and corallites. Detrital limestones towards the base. |                |        |
|           |          |               |                 | Bärtschwill         | Bärtschwill  | Marls with calcareous nodules  |                | 469±29 |
|           |          |               |                 |                     |  | Argillaceous marls with bitumen and pyritic fossils                              |                |        |
|           |          | Middle        | Dogger          |                     | Iferthal   | Oolites, fossiliferous breccias and marls  |                | 344±14 |
|           |          |               |                 |                     | Hauptdoggerstein   | Oolitic limestones with cross-stratification and fossiliferous marls.            |                |        |
|           |          |               |                 |                     | Passwang   | Marls, limestones with echinoderms and sandy limestones                          |                | 813±33 |
|           |          |               |                 |                     | Opalinuston  | Argillaceous marls and sandy mudstones   |                | 863±33 |
|           |          |               |                 |                     | Staffeleig   | Fossiliferous limestones and bituminous mudstones                                |                | 50±7   |
|           |          |               |                 |                     |  | Sandstones, dolomitic marls and dolomites  |                | 179±20 |
| Triassic  | Upper    | Keuper        |                 | Klettgau            | Anhydrites, marls and dolomites.                           |  | 1042±39        |        |
|           |          |               |                 | Bänkerloch          | Salt layers: probably two, ca. 20 and <5 m thick           |  |                |        |
|           |          |               |                 |                     | Dolomites and limestones                                   |  | 224±30         |        |
|           | Middle   | Muschelkalk   |                 | Schinzach           | Anhydrites, marls, dolomites and massive salt (≈40m thick) |  | 1266±49        |        |
|           |          |               |                 | Zeglingen           | Anhydrites, marls and limestones                           |  | 64±17          |        |
|           | Lower    | Buntsandstein |                 | Dienkirchberg       | Gray-green-red sandstones fine to coarse grained           |  | 1330±52        |        |
| Paleozoic | Permian  | Rotliegende   |                 | Wiesental, Weitenma | Sandstones, claystones and crystalline breccias            | Scenarios:<br>-Thin: 70m<br>-Thick: 1000m  | ±1400 or 2330m |        |
|           |          |               |                 |                     | Crystalline basement                                       |  | TD=4000m       |        |



# Carottes

- Echantillon cylindrique pris en cours de forage.
- Opération complexe, lente et donc chère.
- Généralement seulement dans quelques mètres du forage (8.7m à Basel).
- Permet des analyses de laboratoire ciblées sur la roche du réservoir géothermique.



Figur 20: Bohrkern 4908.1 - 4910.80m

# L'objectif premier des tests de stimulation

L'objectif premier des tests de stimulation est d'évaluer la réaction sismique de la roche et de cartographier la zone stimulée à l'aide de la microsismicité.

Les tests de stimulation sont l'une des principales mesures de réduction du risque sismique. De faibles volumes d'eau sont injectés dans la formation afin d'observer la réaction sismique du sous-sol.

Les tests de stimulation servent également à obtenir une base statistique de la sismicité induite et à prévoir le comportement futur de la stimulation.

Une première estimation des paramètres tels que la «valeur b» ou «l'indice sismogénique» est obtenue à ce stade et sera introduite dans un système de feux de signalisation adaptatif qui permet une prévision de l'évolution de la stimulation.

La «valeur b» est essentielle pour estimer la probabilité d'événements ressentis ou dommageables. L'évaluation des tests de stimulation est l'une des principales contributions à la décision de poursuivre le projet de la phase 1 à la phase 2.

# L'objectif secondaire des tests de stimulation

Un objectif secondaire est d'évaluer si l'amélioration permanente de la transmissivité des sections de forage isolées contenant des fractures naturelles peu perméables est prometteuse en vue de la stimulation principale pour la création du réservoir durant la deuxième phase du projet.

Les tests de stimulation permettront d'obtenir des données hydrauliques et géomécaniques importantes pour la conception de la stimulation multi-étapes du réservoir, ainsi que des informations importantes pour définir l'orientation (azimut et peut-être aussi inclinaison) des sections de forage horizontales qui seront forées au cours de la deuxième phase du projet.

En outre, les données et les expériences tirées des tests de stimulation seront utilisées pour la conception du système de complétion des sections de puits horizontales dans les deux forages GLV-1 et GLV-2.

## Etat actuel de la planification du test de stimulation (1) (sera examinée une fois que les données de forage seront disponibles et par des experts externes)

- 1) Récupération statique de la pression (PSR) : Après l'installation de la chaîne de géophones, le puits est fermé en surface et les pressions sont contrôlées.
- 2) Test d'injection à pression faible mais constante, y compris la récupération pour évaluer la transmissivité avant les tests de stimulation.
- 3) Premier cycle de tests:
  - a) Augmentation progressive des taux d'injection de 10, 20, 45 et 60 l/min. La durée des trois premières étapes est de deux heures chacune. La quatrième étape est poursuivie jusqu'à ce que les valeurs  $b$  puissent être estimées de manière fiable à partir de la microsismicité.
  - b) Observation des pressions pour identifier les processus de cisaillement.
  - c) Arrêter l'injection si les pressions en tête de puits sont proches de la limite de pression du casing.

Pompes telles qu'elles ont été utilisées dans le laboratoire de roches de Bedretto

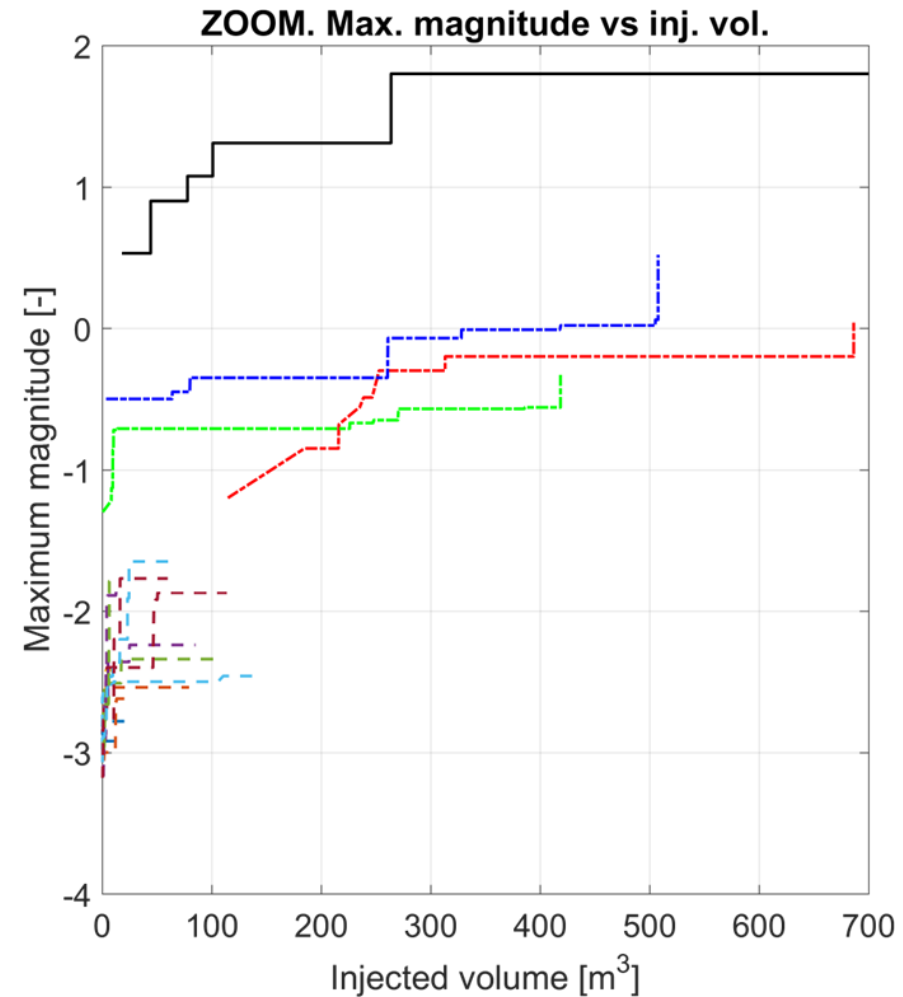
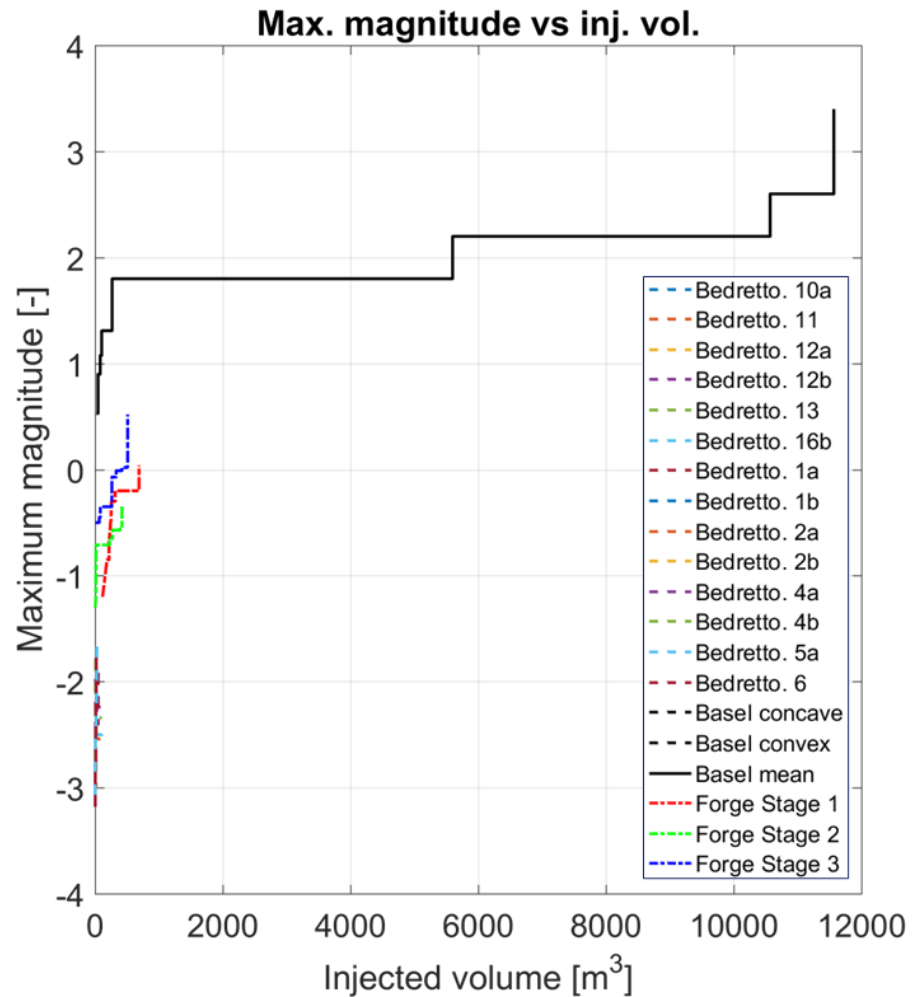


**Etat actuel de la planification du test de stimulation (2)**  
**(sera examinée une fois que les données de forage seront disponibles et par des experts externes)**

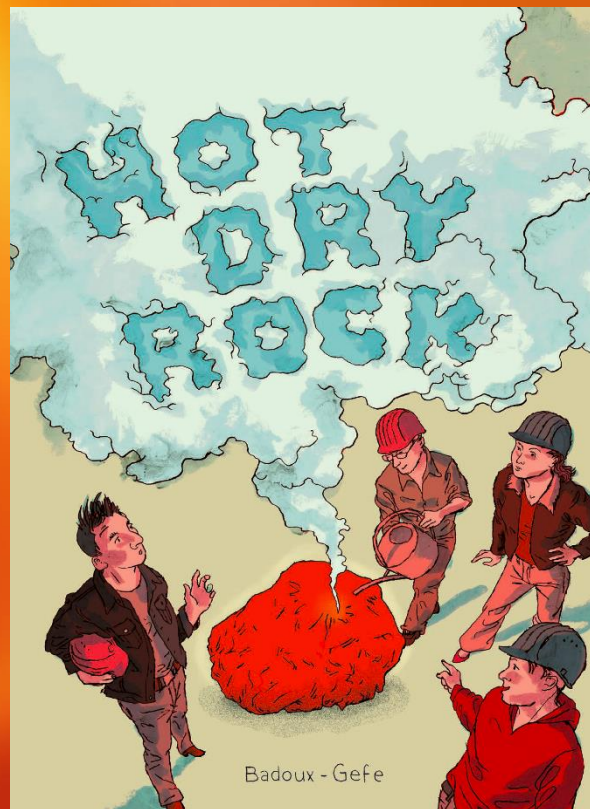
- d) Arrêt de l'injection si les magnitudes  $M_w > 1.0$ .
- e) Arrêter l'injection à un volume injecté de 500 m<sup>3</sup>.
- f) Préparer le reflux conformément aux instructions du système de feux de circulation (TLS).
- g) Préparer la fermeture et/ou le reflux conformément aux instructions du système avancé de feux de circulation (ATLS).
- h) Mise à l'arrêt : récupération de la pression statique après la mise à l'arrêt de la tête de puits pendant 24 heures.
- i) Test d'injection à pression en tête de puits constante, y compris la récupération pour évaluer la transmissivité après le test de stimulation.
- k) Après analyse des données, une décision sera prise quant à l'opportunité d'effectuer un second cycle de tests.



# Réponses sismiques à l'injection à Bâle, Utah et Bedretto en fonction du volume injecté



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



Merci pour votre attention!

# La mesure des contraintes pour les projets de géothermie

*Séance CSI Haute-Sorne  
4 septembre 2023*

Professeur Benoît Valley  
Centre d'hydrogéologie et de géothermie  
Université de Neuchâtel, Suisse

## 3 questions

1. Qu'est-ce que c'est que les contraintes dans le sous-sol ?
2. Comment estimer / mesurer les contraintes ?
3. Quel est l'importance des contraintes pour un projet de géothermie profonde?



Temple de Segeste

Contrainte : force (**magnitude**) qui s'applique sur une surface



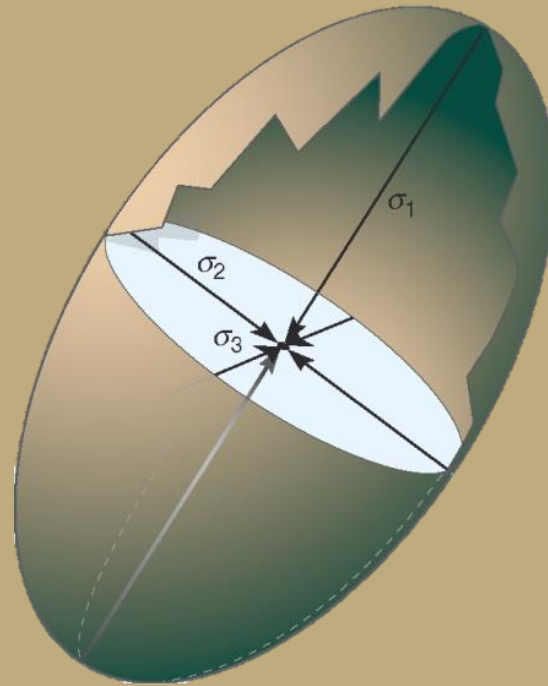
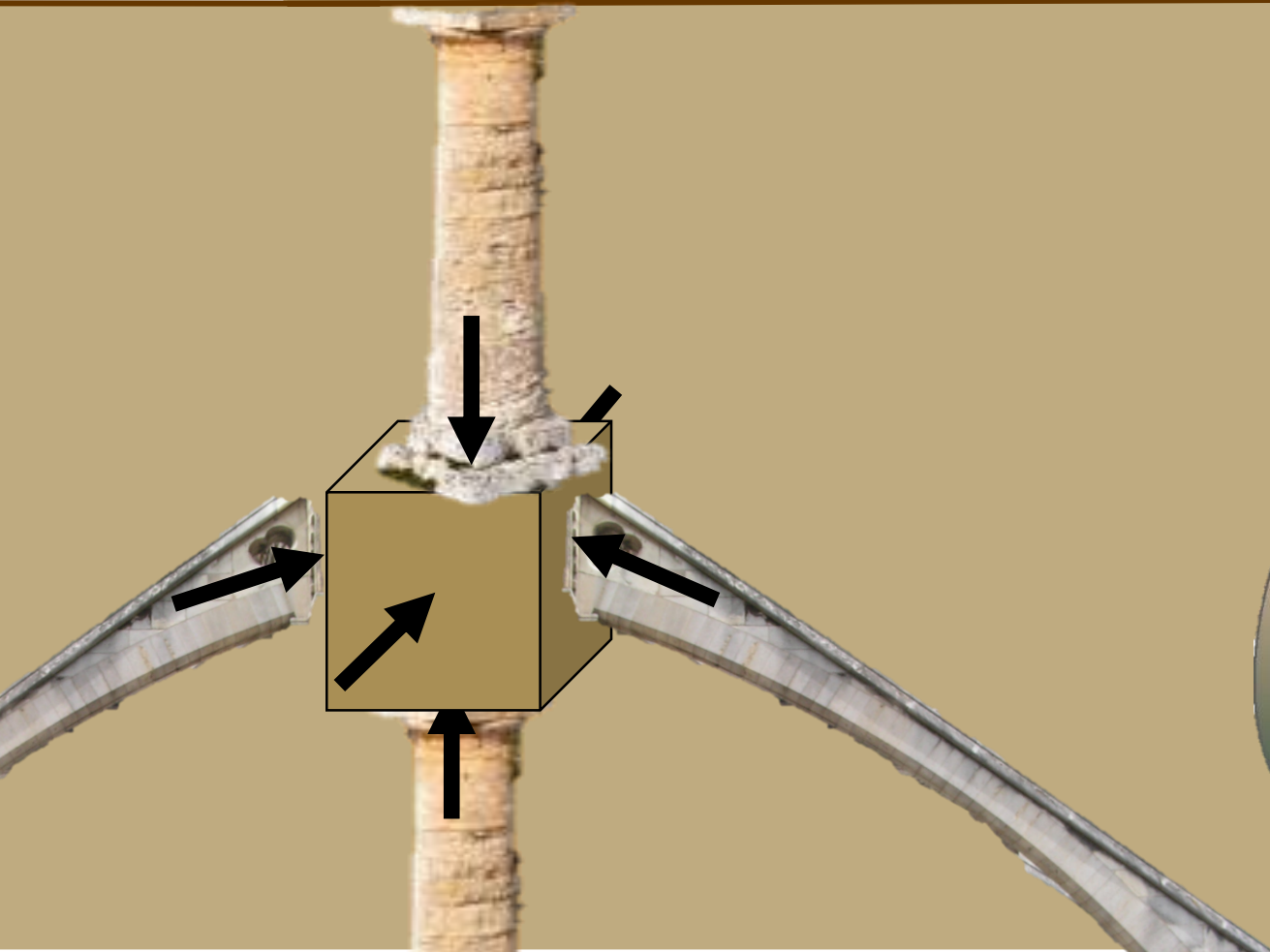


Notre-Dame de Paris

Contrainte : force (**magnitude**) qui s'applique sur une surface dans une **direction**



# Contraintes dans le sous-sol

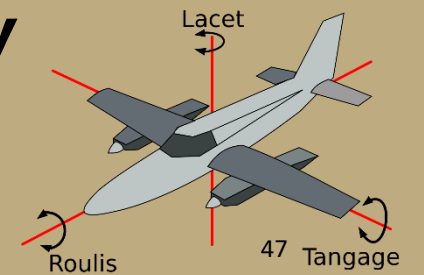


Magnitudes des contraintes principales

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$

Les directions des contraintes

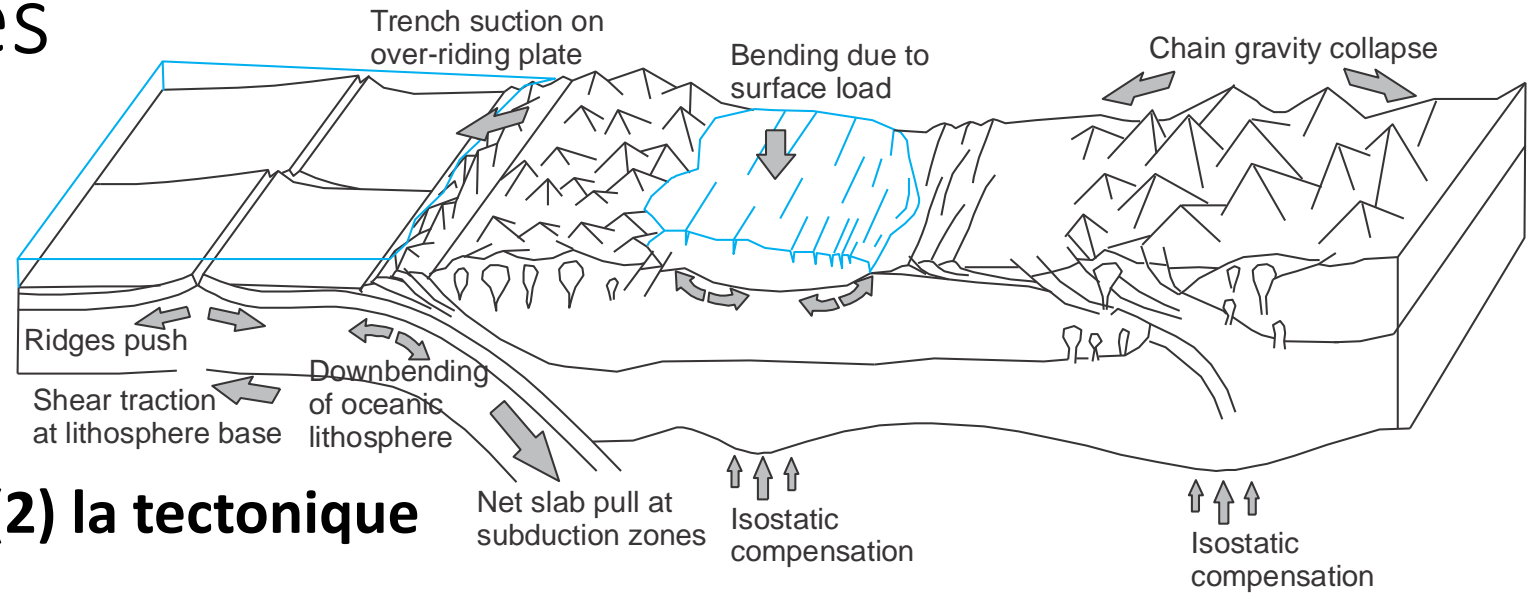
$\alpha, \beta, \gamma$



# Source des contraintes dans le sous-sol

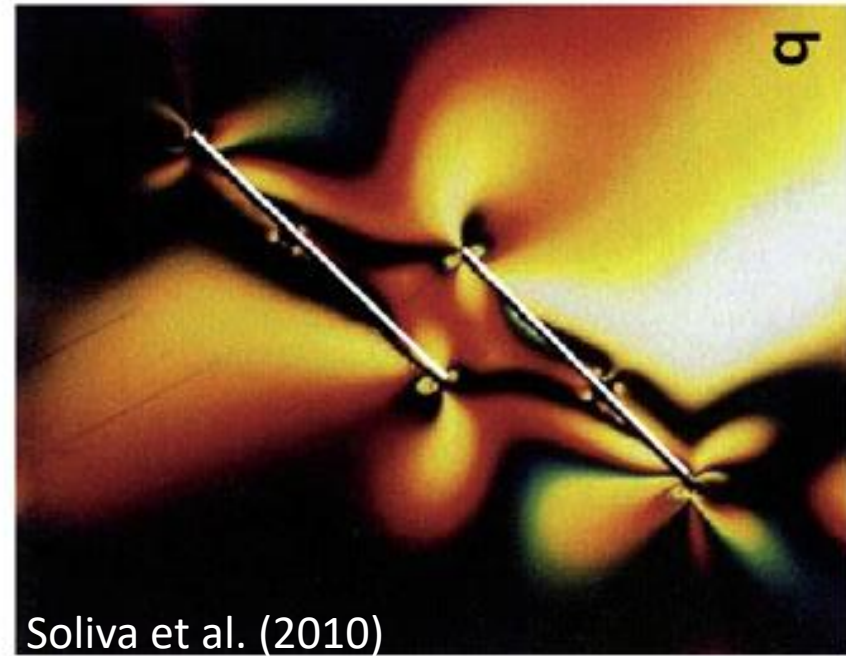


$\sigma =$  (1) Le poids des roches



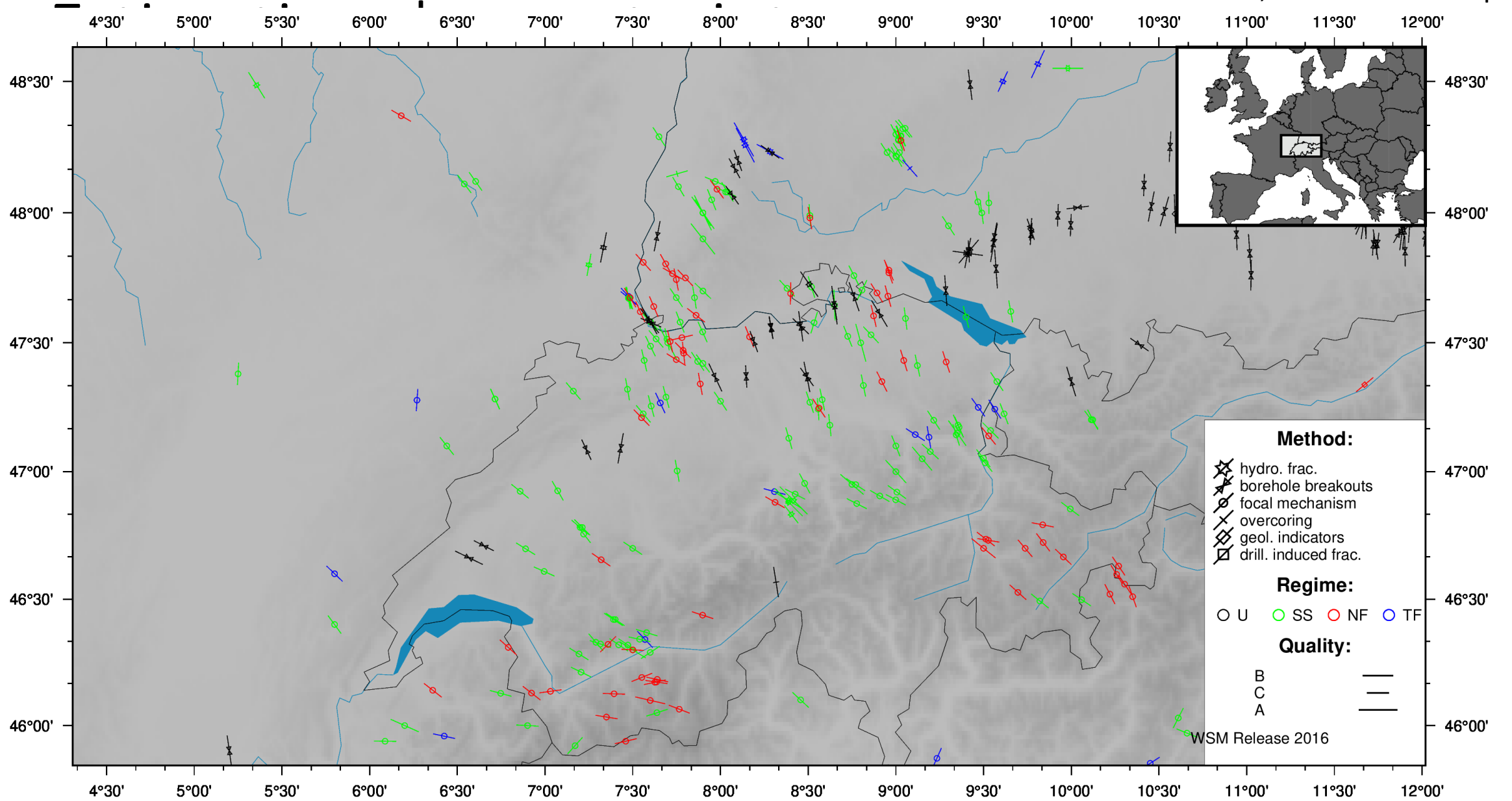
+ (2) la tectonique

+ (3) les « hétérogénéités »





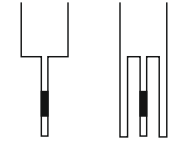
# Heidbach et al., World Stress Map



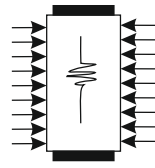
# Méthodes de mesure des contraintes



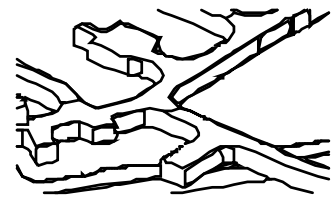
**HF**  
Hydraulic fracturing



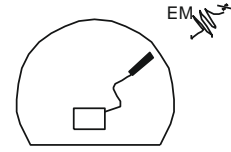
**OC**  
Overcoring



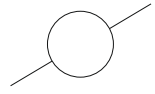
**WVA**  
Wave velocity analyse



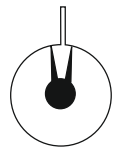
**BA**  
Back analyses



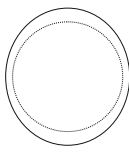
**EMR**  
Electromagnetic radiations



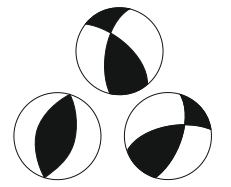
**HTPF**  
Hydraulic testing of pre-existing fractures



**BS**  
Borehole slotter



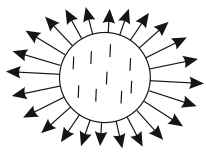
**DCDA**  
Diametrical core deformation analyses



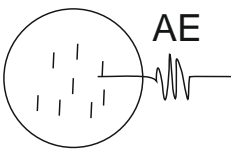
**FPS**  
Earthquake focal plane solution



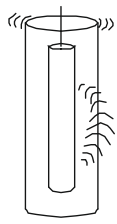
**SIMFIP**  
Stress measurement by induced fracture dislocation



**ASR**  
Anelastic strain recovery



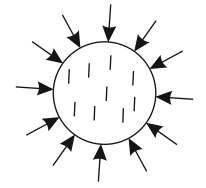
**AE KE**  
Kaiser effect



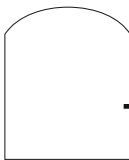
**SS**  
Sonic scanner



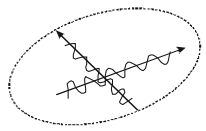
**SF**  
Sleeve fracturing



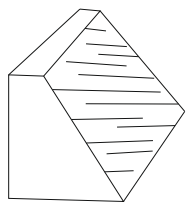
**DSA**  
Differential strain analyses



**FJ**  
Flat jack



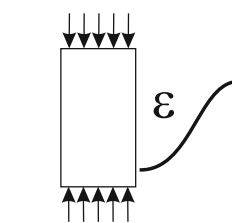
**SP**  
Shear wave polarization



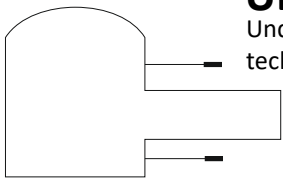
**FSS**  
Fault slip striation



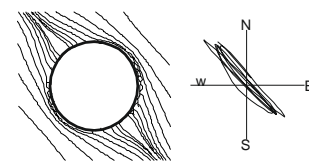
**BBOs**  
Borehole failure



**DRA**  
Deformation rate analyses



**UET**  
Under excavation technique



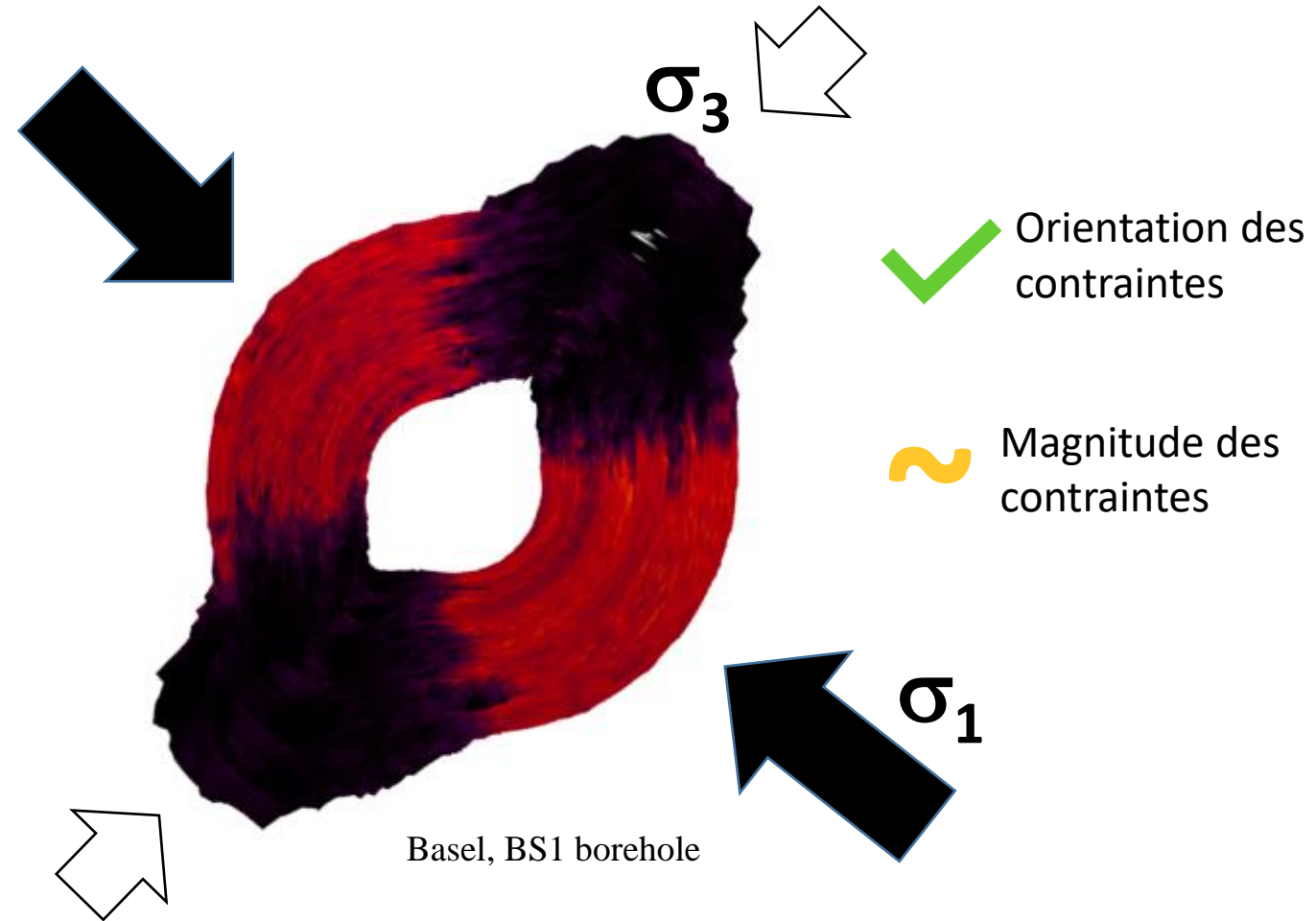
**SW**  
Stoneley wave polarisation

# Borehole breakouts (ruptures de forage)



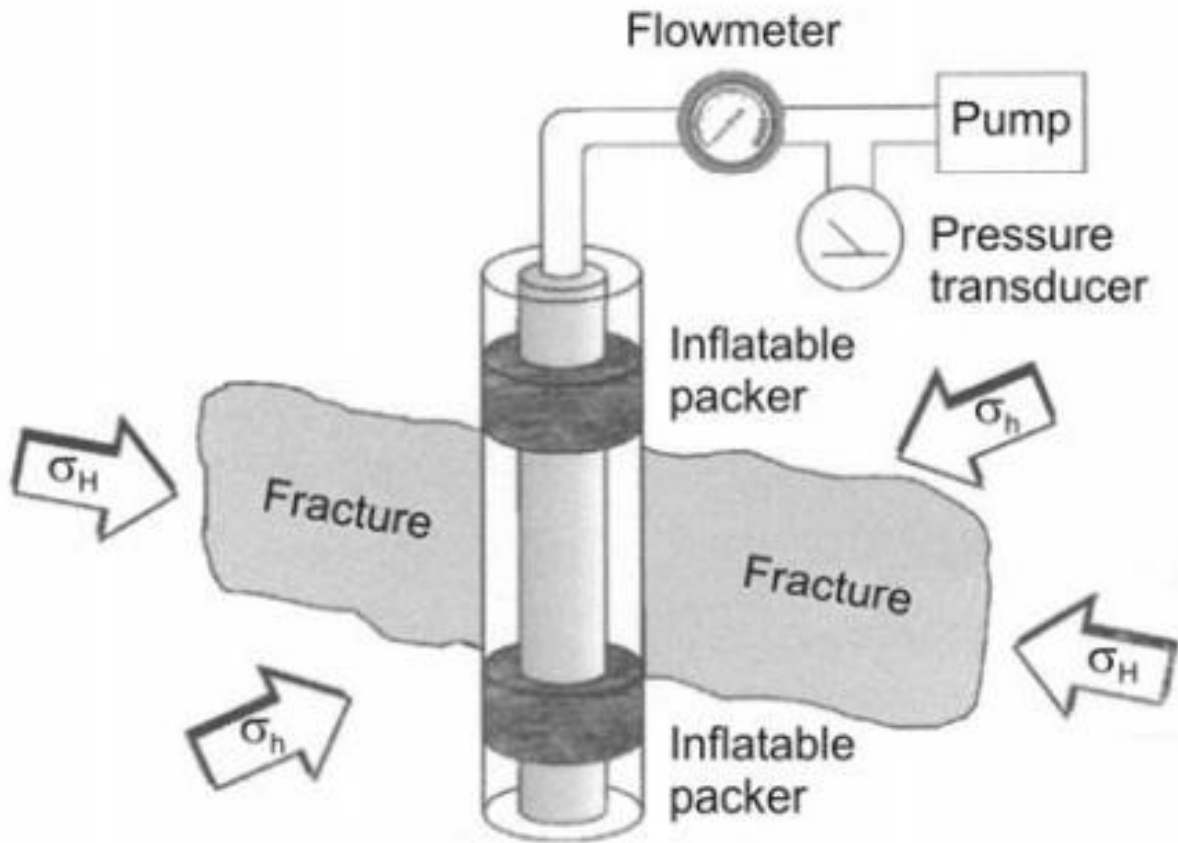
URL Canada, Martin 1997

Bedretto tunnel, Huber 2004



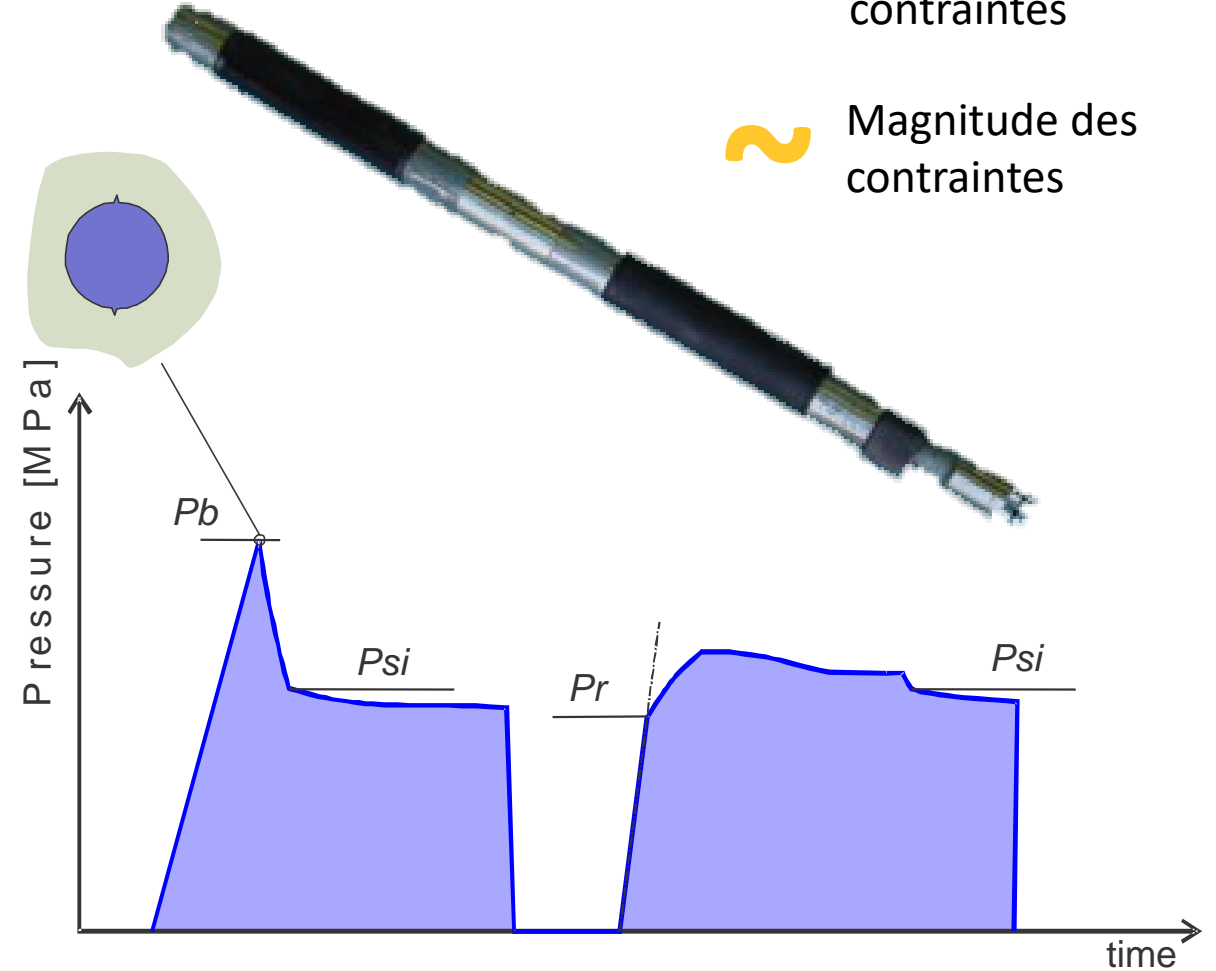
# Mesure des contraintes par minifrac

HF  $\sigma_H$   
Hydraulic fracturing





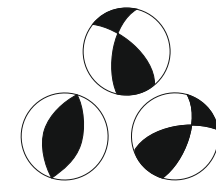
Haimson et al.

~ Orientation des contraintes  
~ Magnitude des contraintes



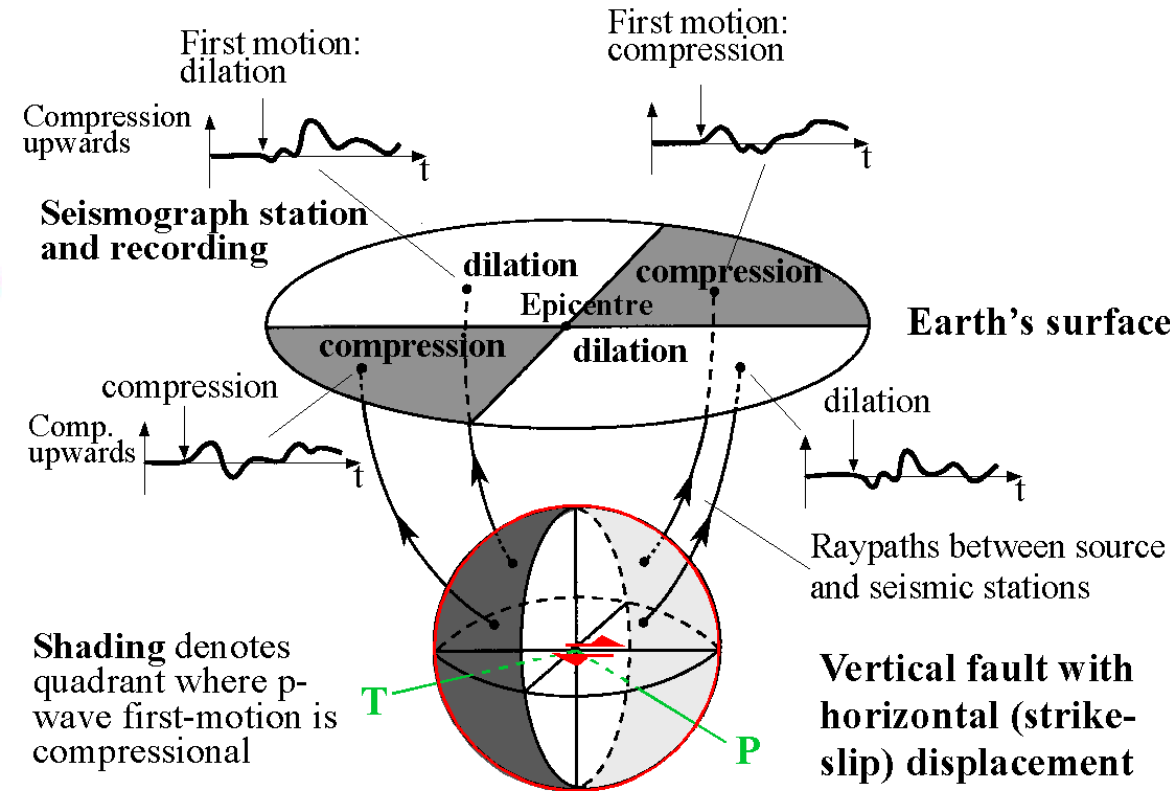
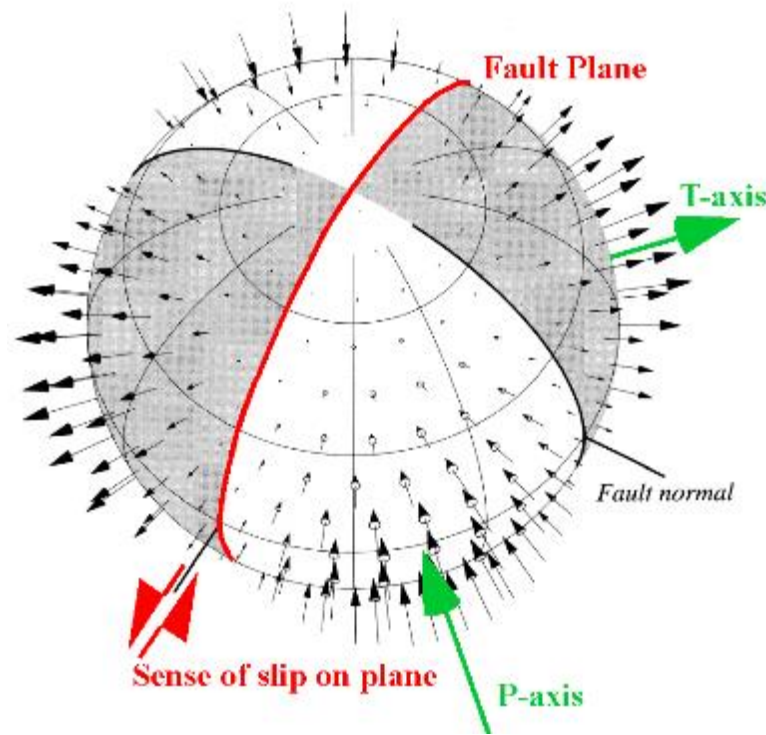
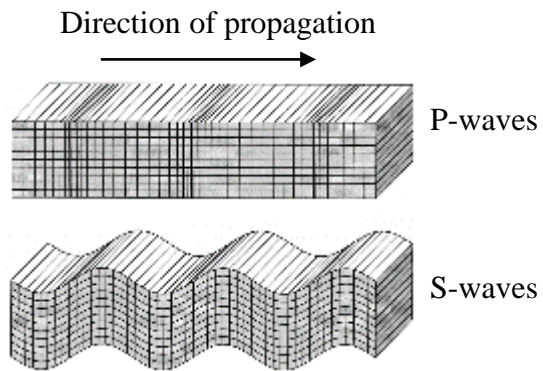
# Estimation des contraintes par mécanismes aux foyer

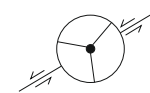
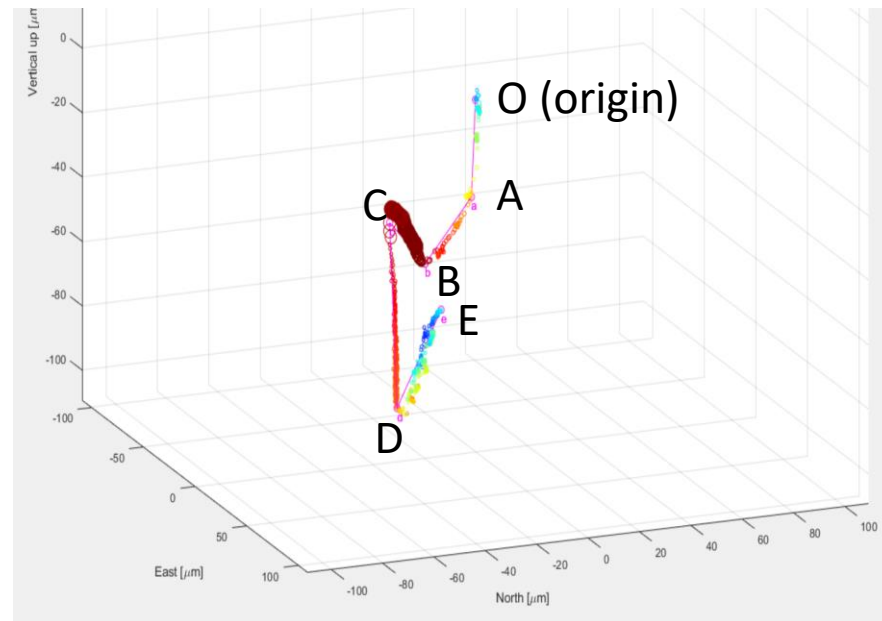
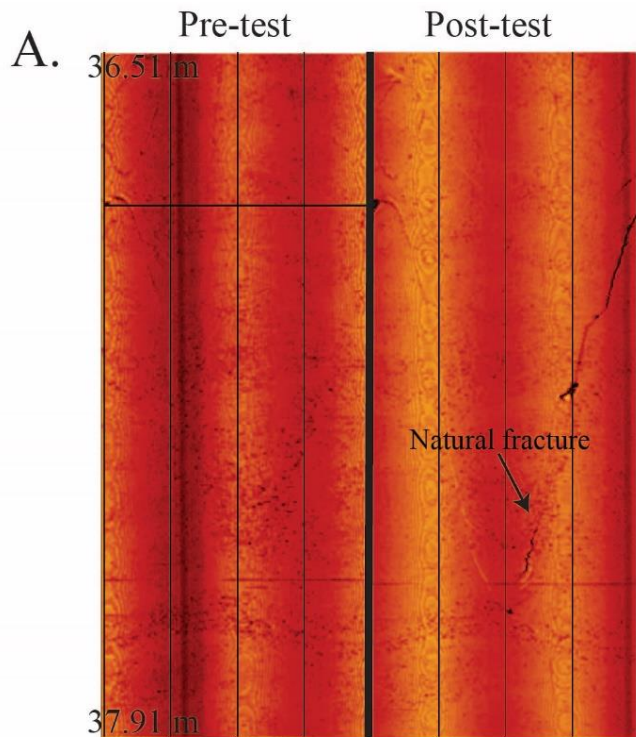
-  Orientation des contraintes
-  Magnitude des contraintes



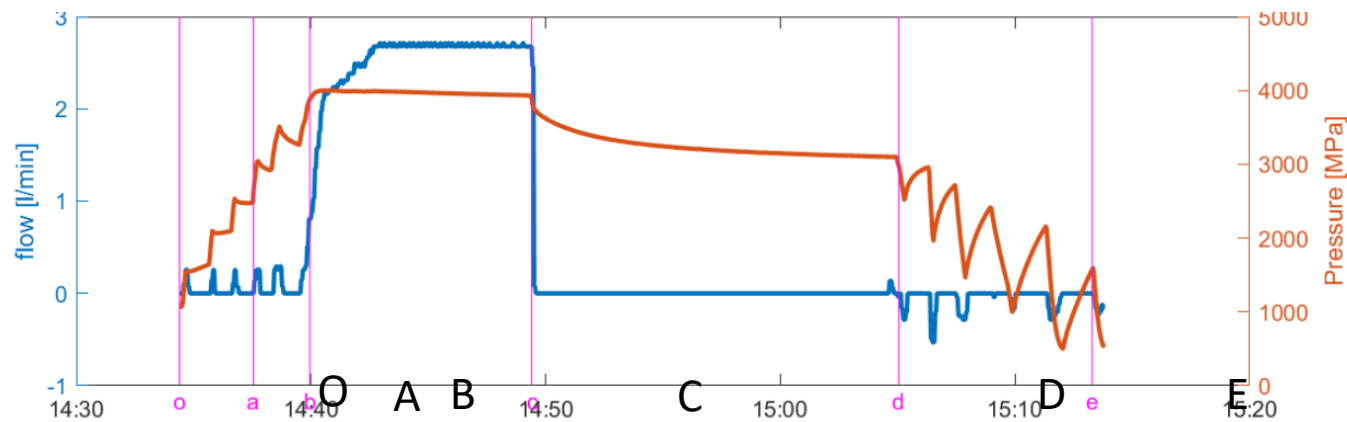
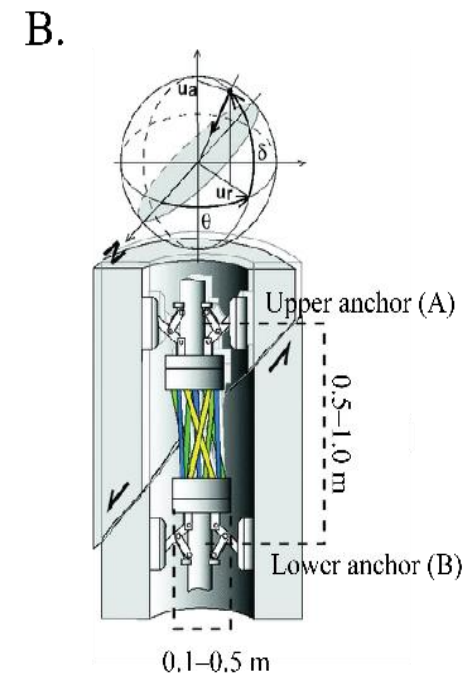
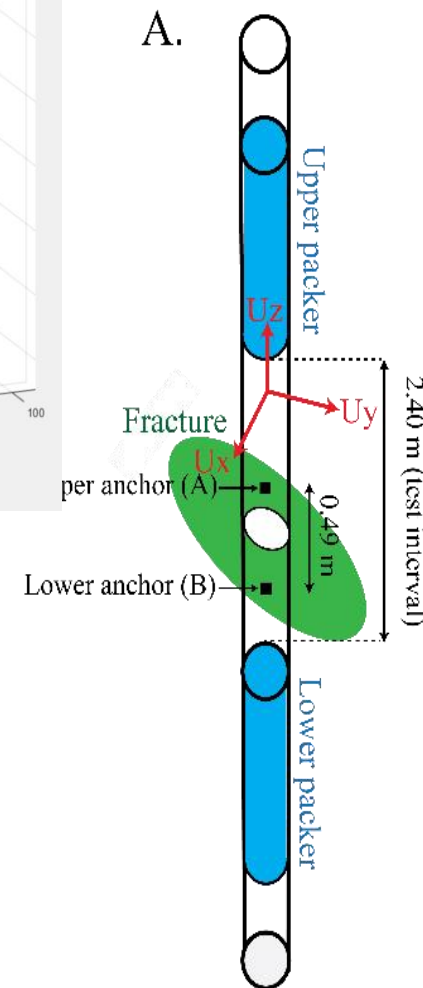
**FPS**  
Earthquake focal plane solution

## Ondes P et S





**SIMFIP**  
Stress measurement  
by induced fracture  
dislocation

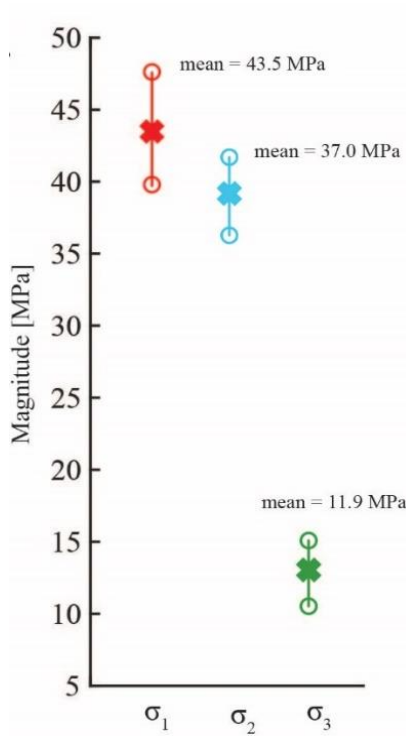
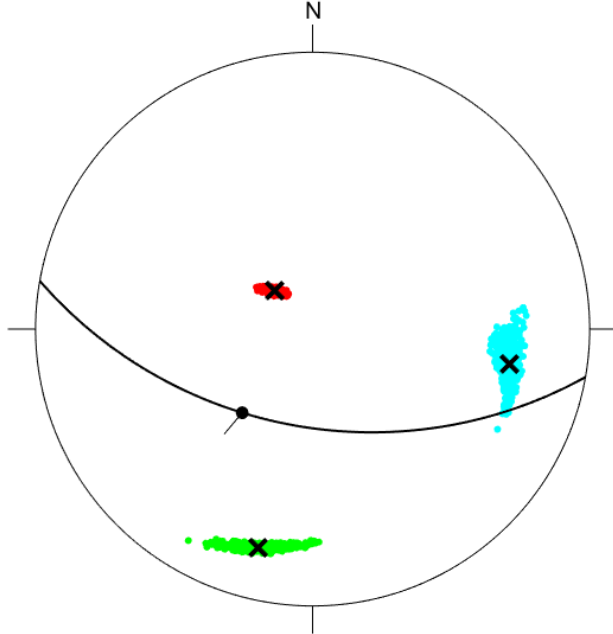


- Captured data:
- Flow rate  $Q$
  - Pressure  $P$
  - Dislocation  $x, y, z$

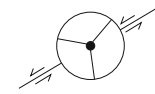
Guglielmi et al.

# SIMFIP

## (4) Estimate confidence interval

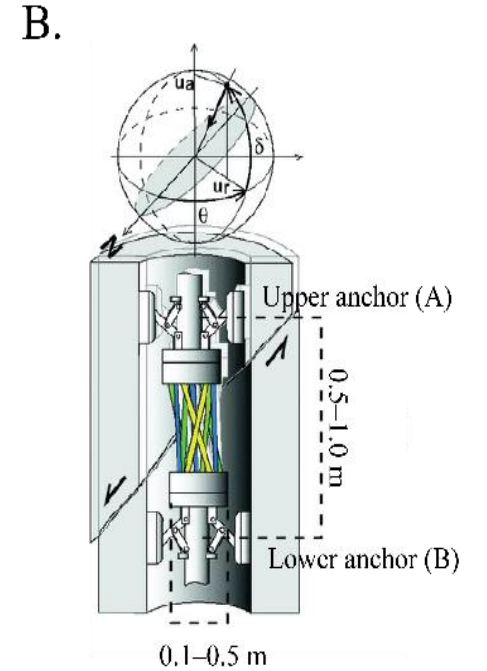
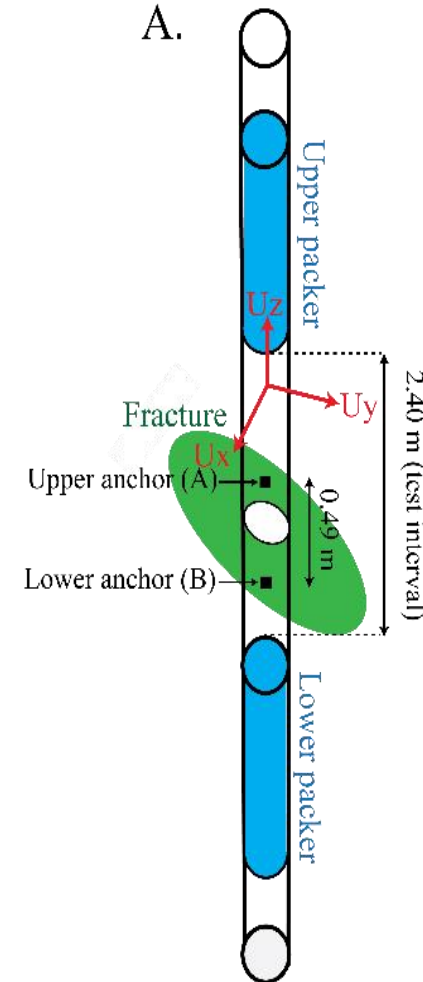


- ✓ Orientation des contraintes
- ✓ Magnitude des contraintes



## SIMFIP

Stress measurement by induced fracture dislocation



Captured data:

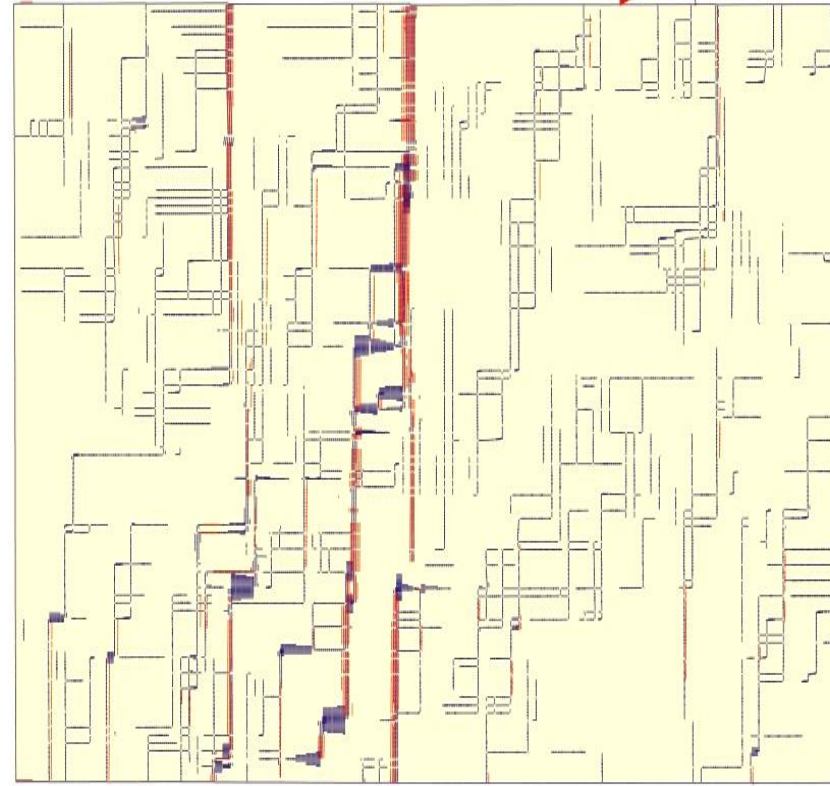
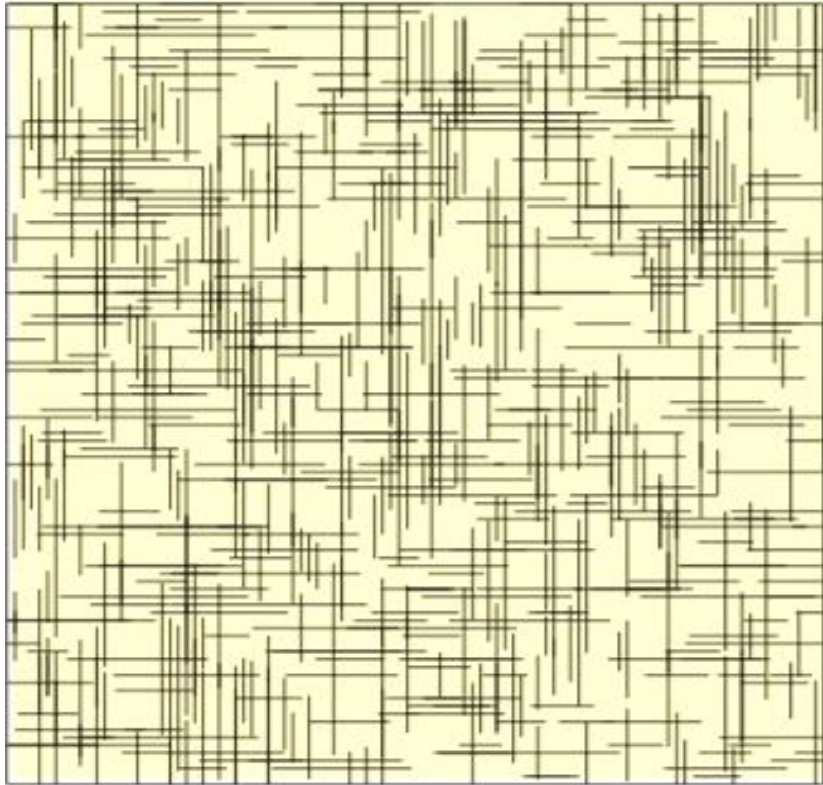
- Flow rate  $Q$
- Pressure  $P$
- Dislocation  $x,y,z$

Guglielmi et al.

# Influence des contraintes sur les écoulements

Fluid pressure = 13 MPa  
Max. aperture = 12.4 mm  
Max. Slip = 9.5 mm

$\sigma_H$   
60°



$\sigma_H$

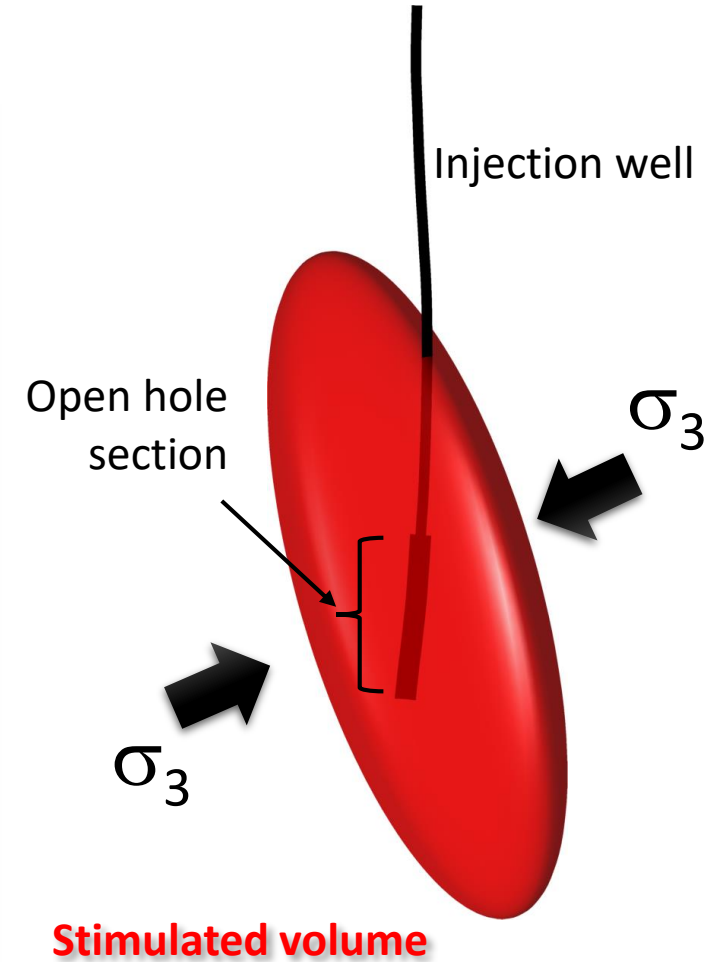
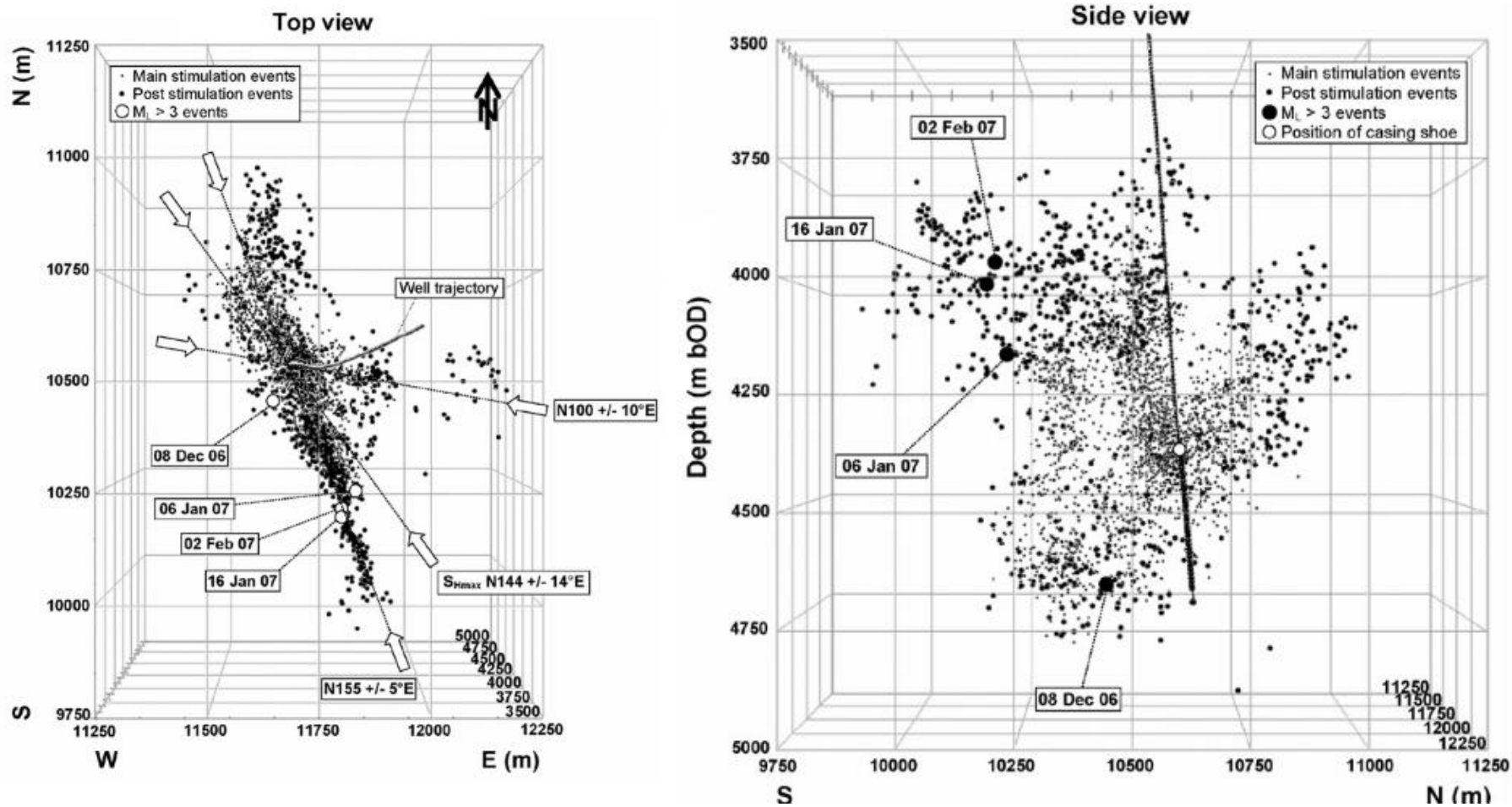
Zhang & Sanderson (2001). *JGR106*(B11), 26671-26688.

The width of the thinnest line represents  
a value of 0.35 mm in aperture

The width of the thinnest line represents  
a value of 1 mm in shear displacement

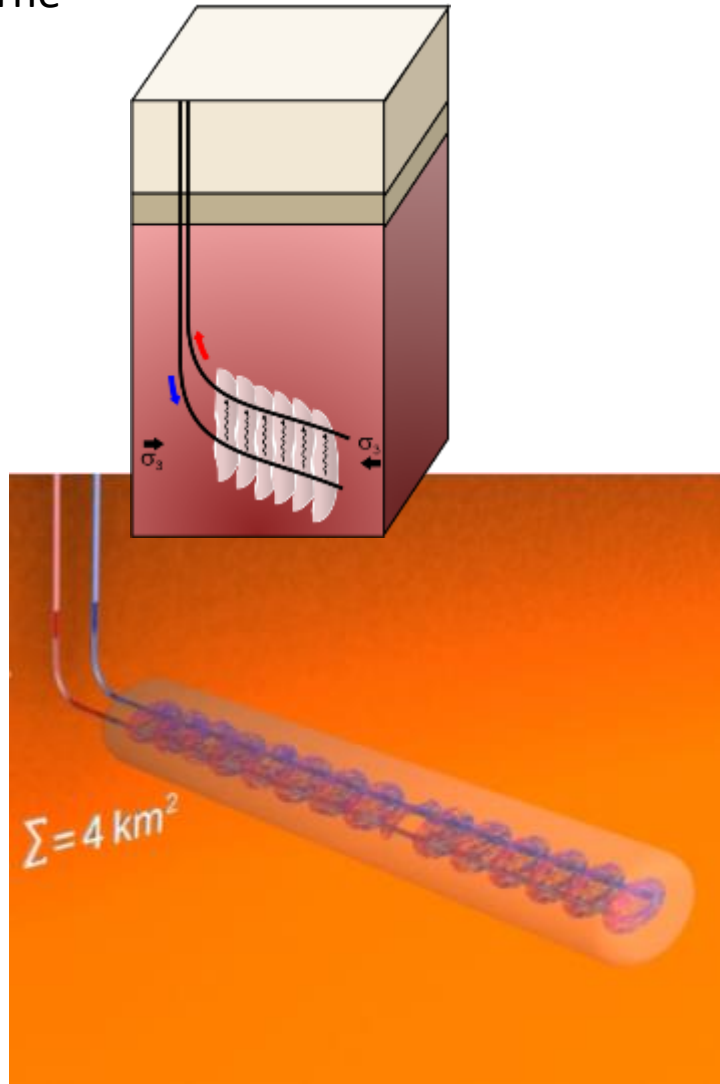


# Développement du réservoir



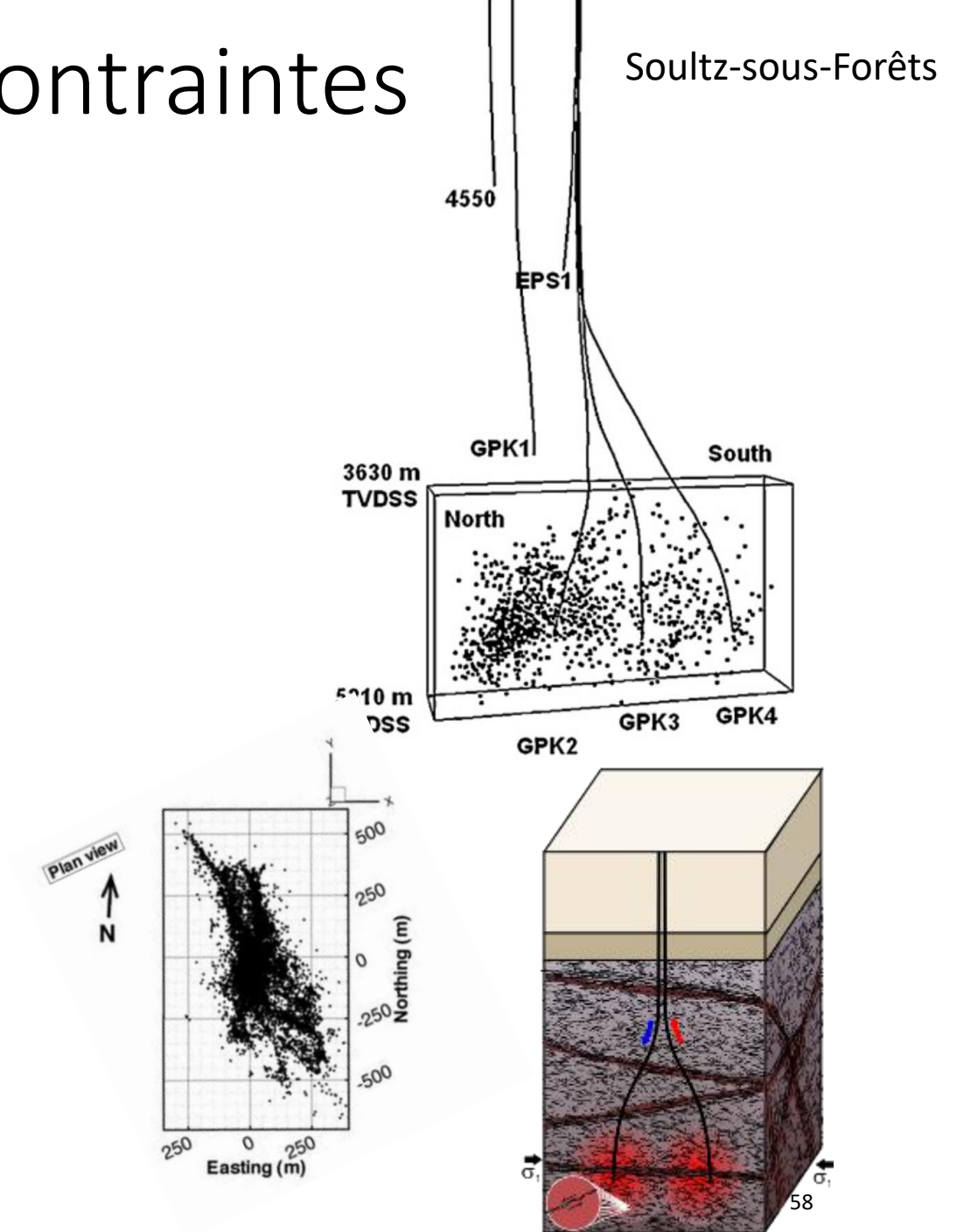
# Orientation des forages vs contraintes

Haute-Sorne

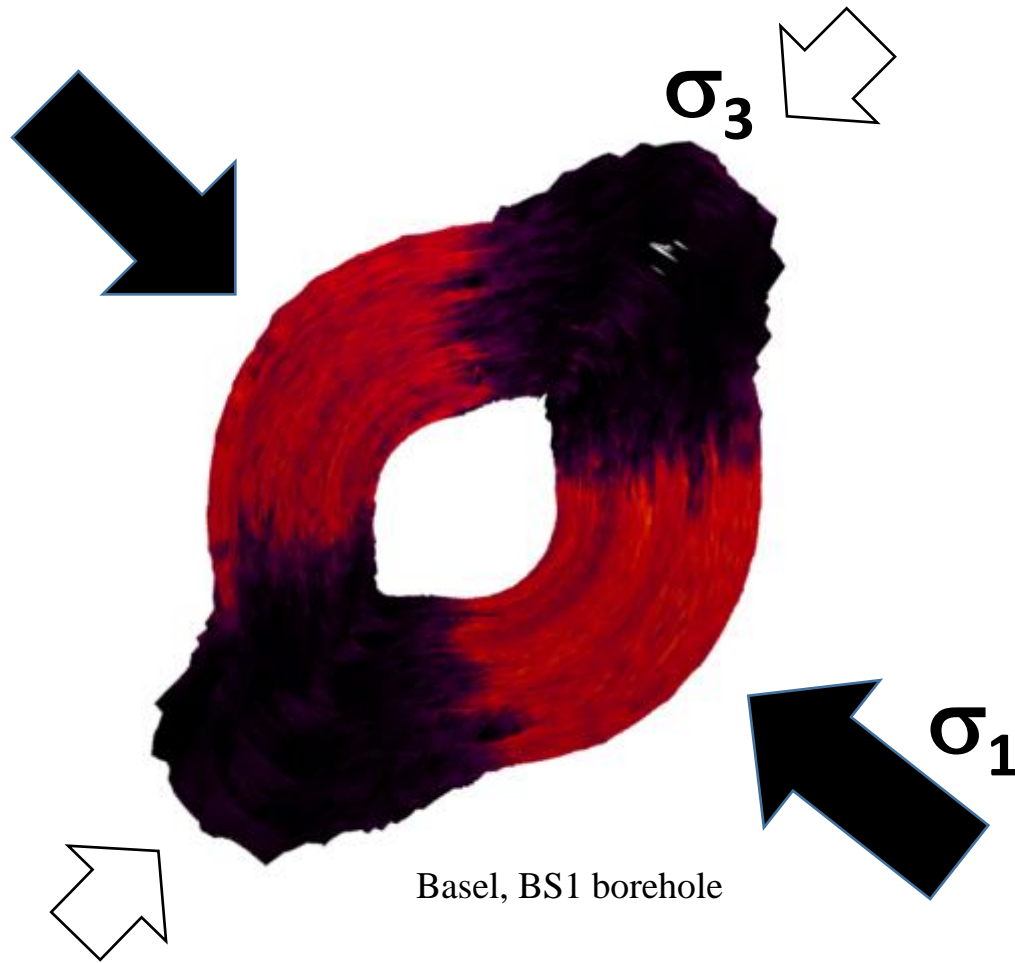


05.09.2023

Soultz-sous-Forêts

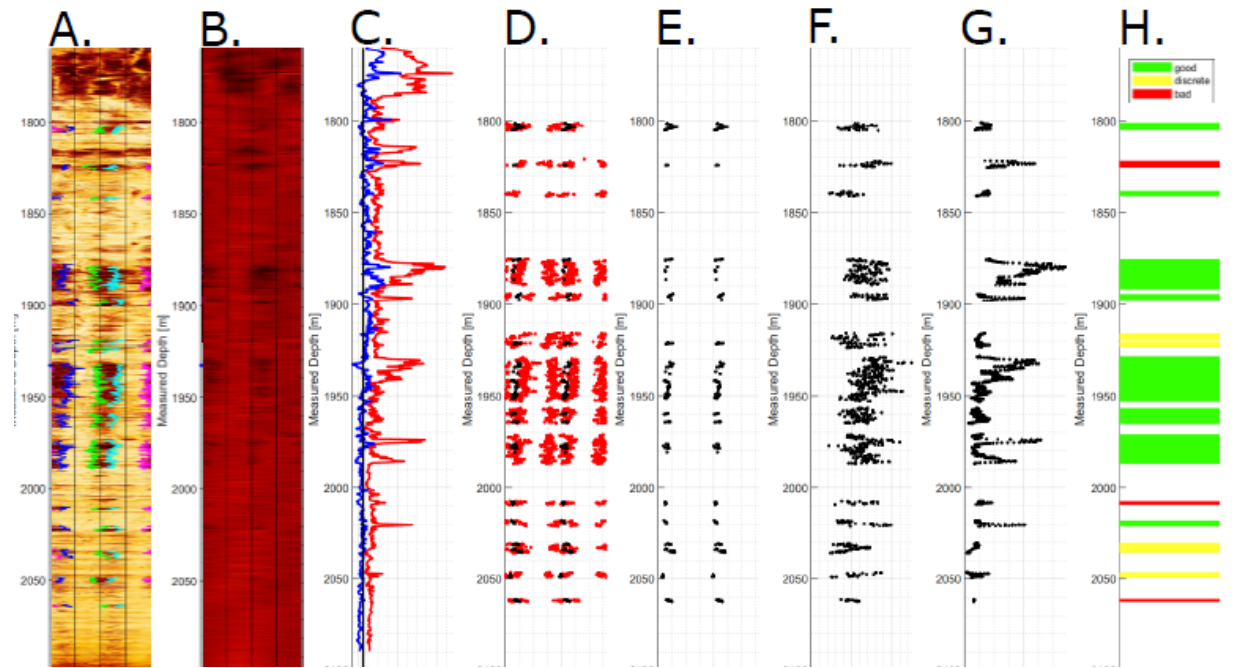


# Stabilité des puits



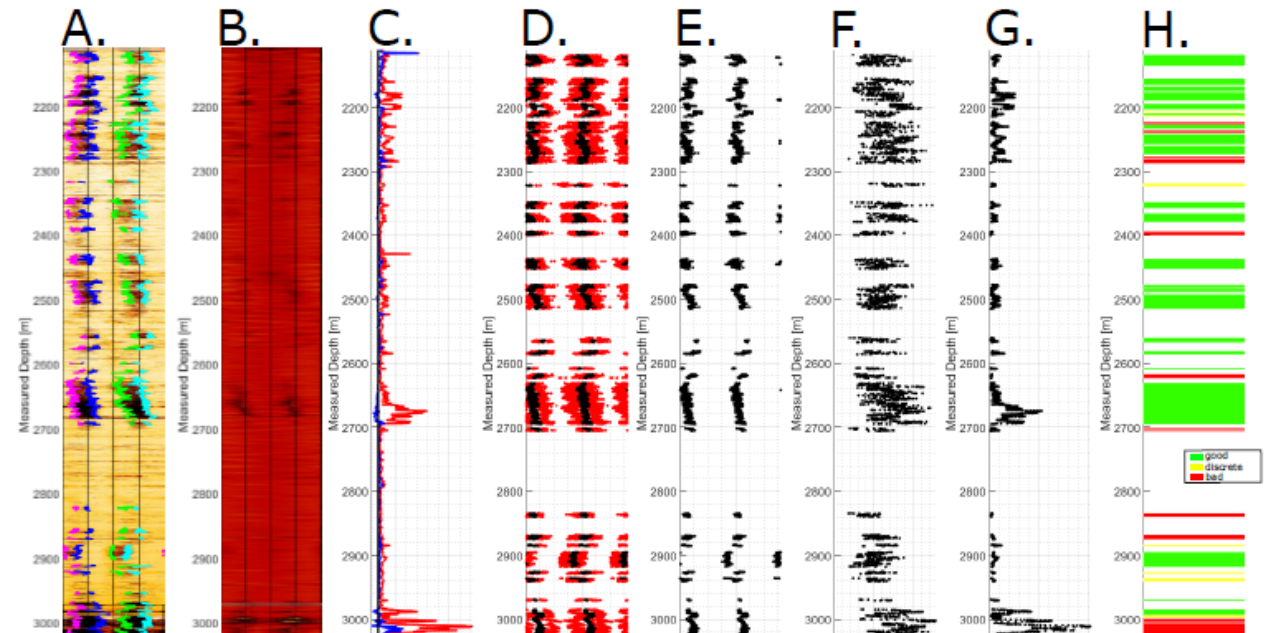
05.09.2023

4.4.3. Acoustic Televiewer: section 3 (12.1/4")



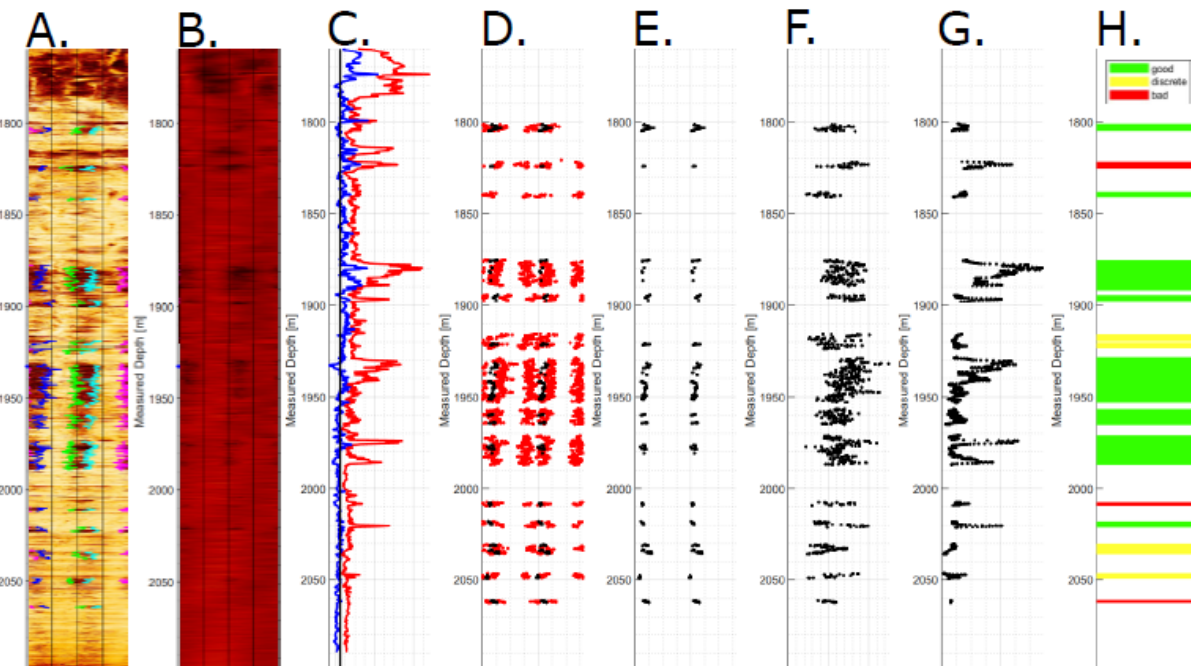
4.4.4. Acoustic Televiewer: section 4 (8.1/2")

Forage de Lavey (Vescovi, 2022)

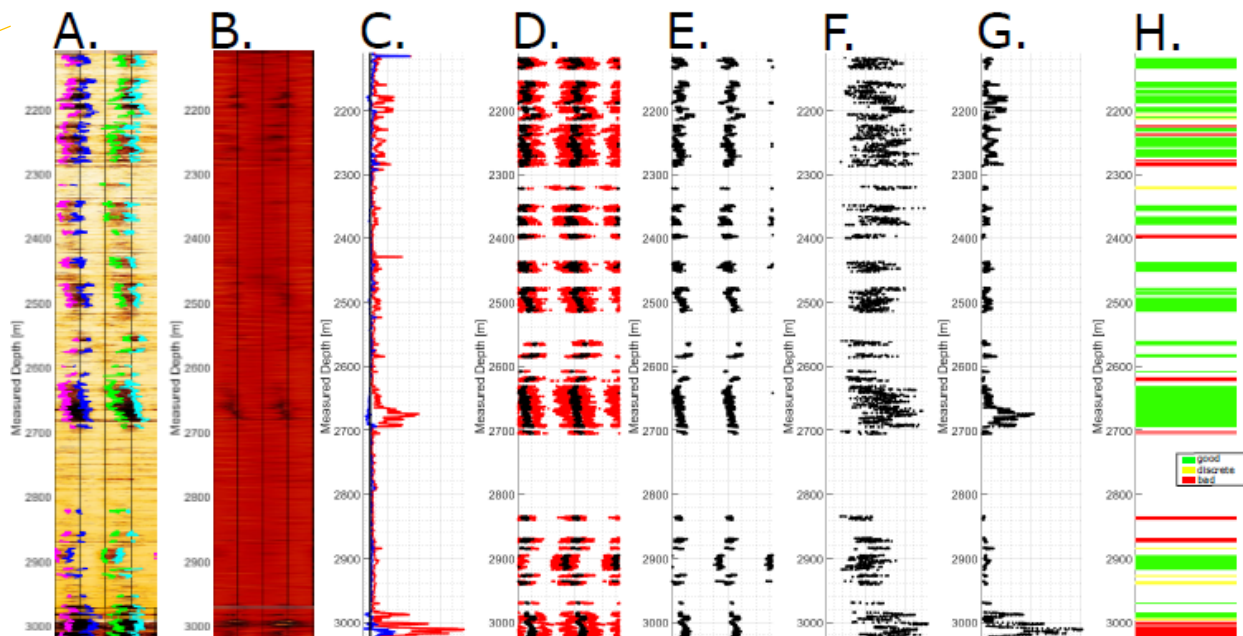


# Stabilité des puits

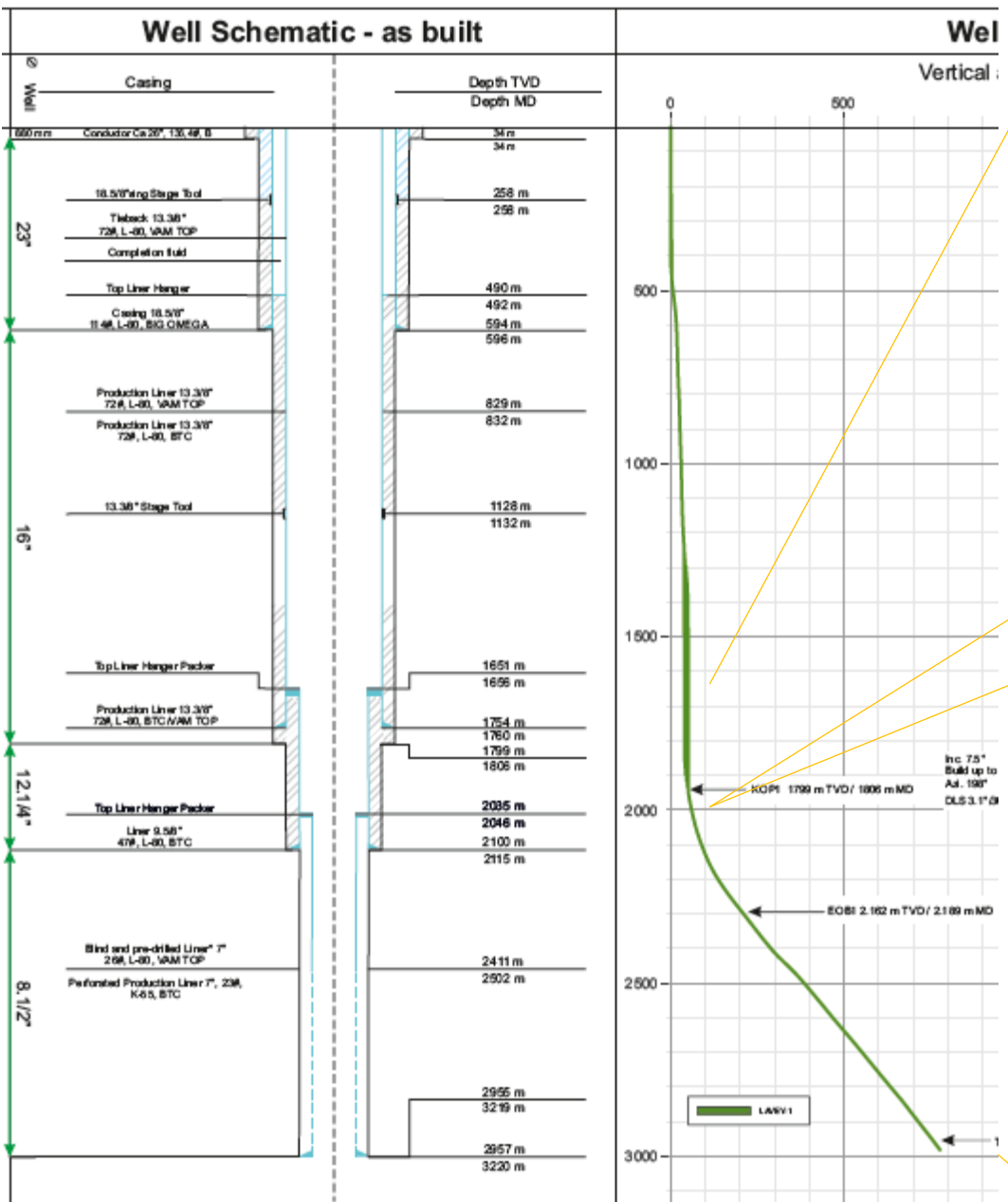
4.4.3. Acoustic Televiewer: section 3 (12.1/4")



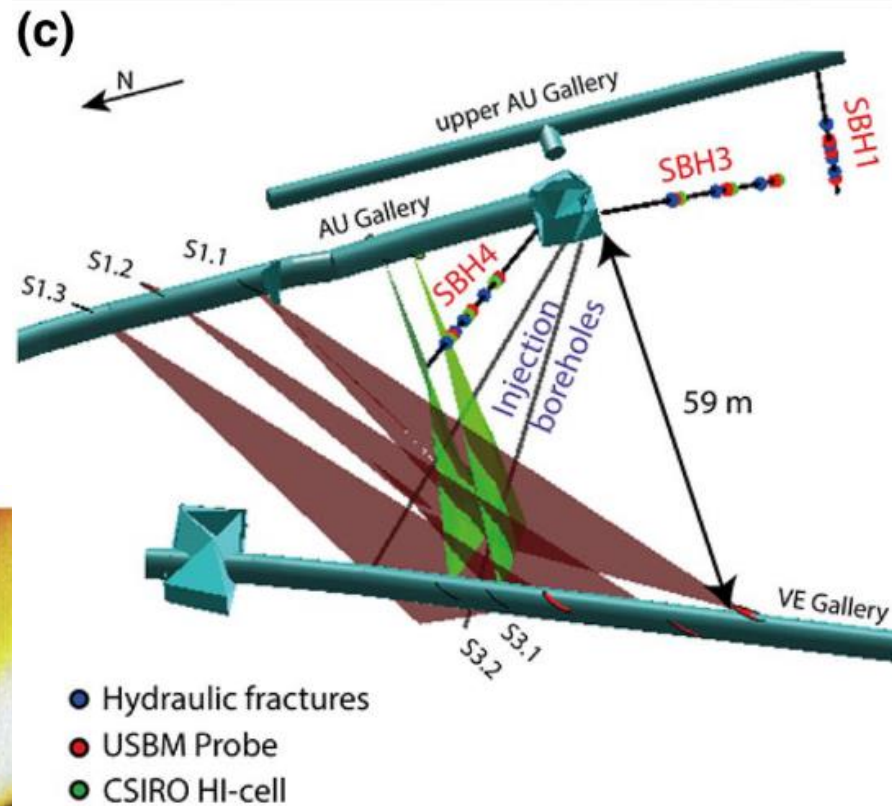
4.4.4. Acoustic Televiewer: section 4 (8.1/2")



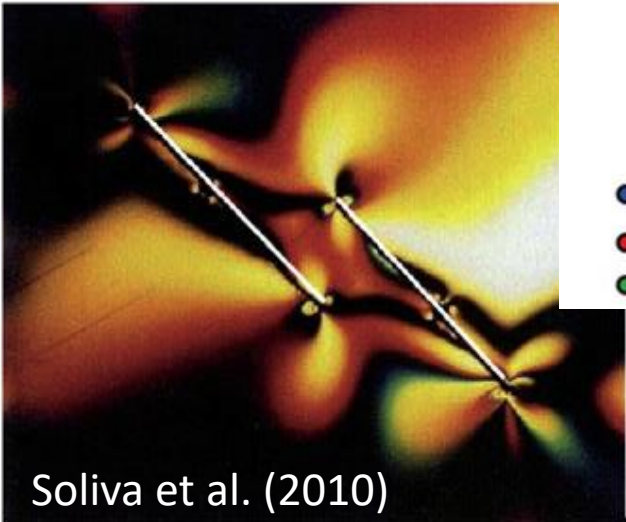
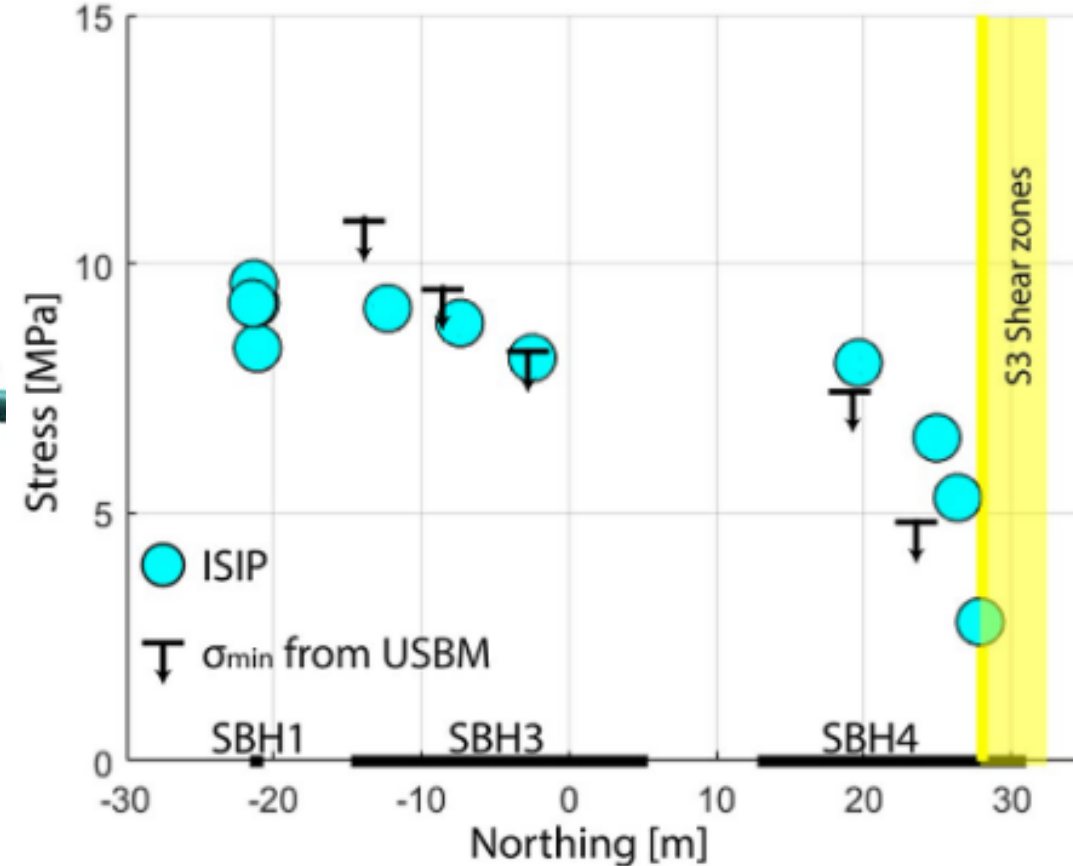
Forage de Lavey (Vescovi, 2022)



# Indentification de structures non-intersectées par le forage



Krietsch et al. (2019)



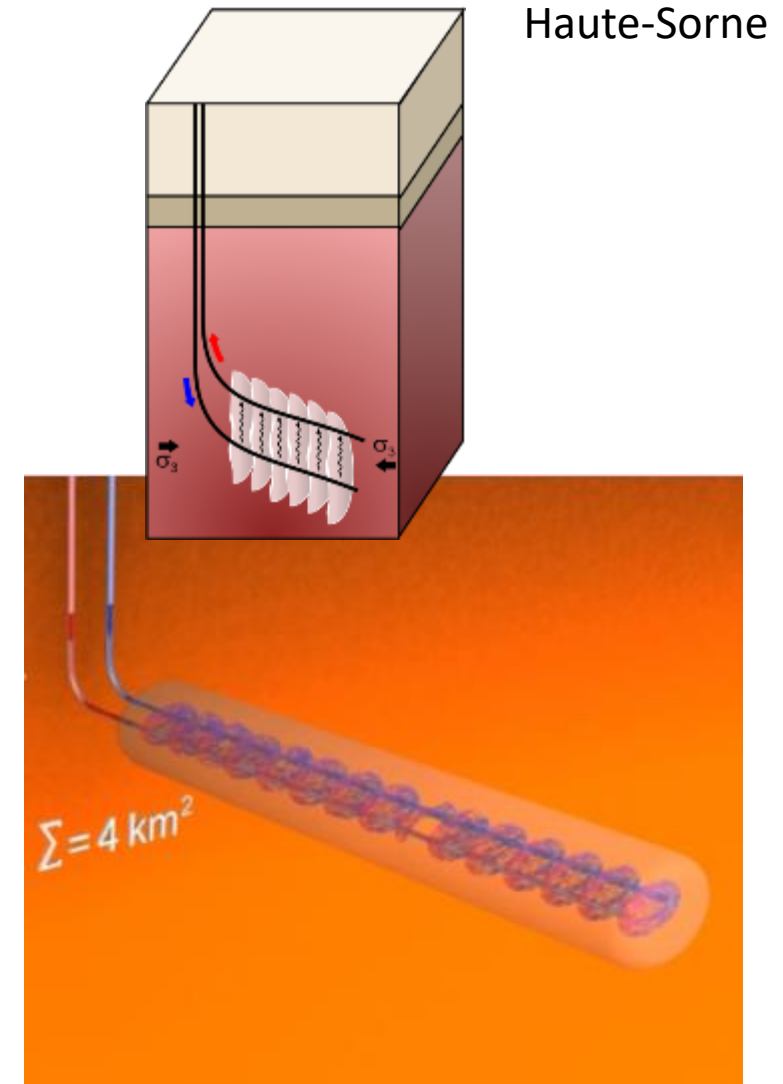
Soliva et al. (2010)

# Synthèse

- Les contraintes sont un des éléments importants pour le développement de la géothermie profonde
- La mesure des contraintes n'est pas triviale. Il faut mettre en œuvre des méthodes complémentaires et les appliquer de manière itérative, particulièrement le long de forages exploratoires.



05.09.2023



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Benoît Valley  
Centre d'Hydrogéologie et de  
Géothermie - CHYN  
Neuchâtel, Suisse  
[benoit.valley@unine.ch](mailto:benoit.valley@unine.ch)  
[www.unine.ch/chyn](http://www.unine.ch/chyn)

# DIVERS





# **CONCLUSION**



Pascal Mahon, président de la CSI