

Bilan et futur du LabEx G-Eau-Thermie profonde

Jerôme Vergne, Jean Schmittbuhl

*Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre
Institut de Physique du Globe de Strasbourg*

HOT TOPIC!

12/11/2019 : Un séisme M3.1 induit (?)



UN SÉISME DE MAGNITUDE 3,1 SUR L'ÉCHELLE DE RICHTER

Un léger tremblement de terre a secoué Strasbourg à 14 h 38

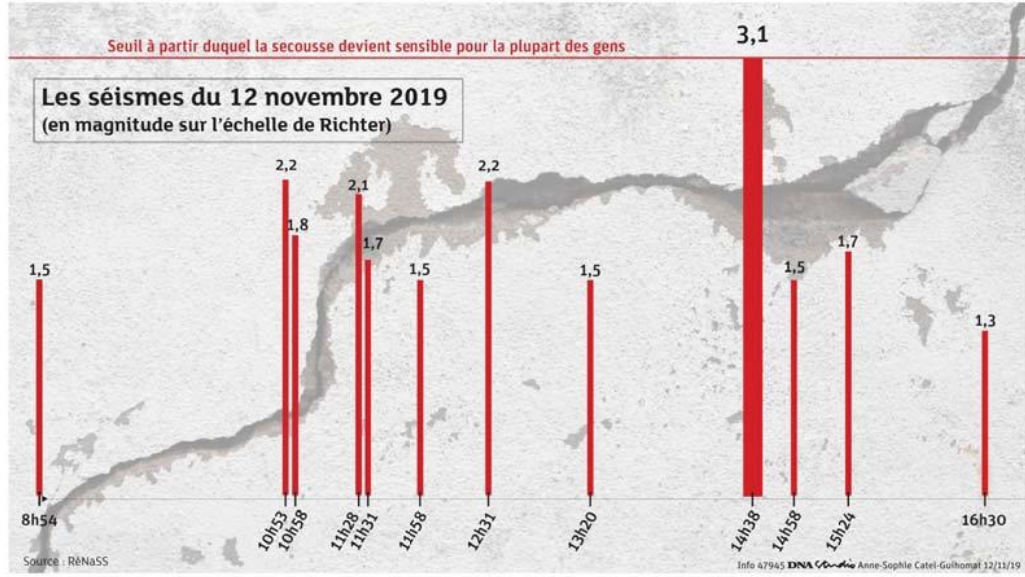
Un séisme de magnitude 3,1 sur l'échelle ouverte de Richter s'est produit mardi en début d'après-midi près de Strasbourg. La secousse, qui a été ressentie dans une grande partie de l'Eurométropole, n'a fait ni blessés, ni dégâts importants.

Une déflagration sourde, suivie d'un tremblement, a agité Strasbourg et les communes environnantes mardi en début d'après-midi. À 14 h 38 précisément, les stations du Réseau national de surveillance sismique (RéNaSS) ont enregistré une secousse d'une magnitude de 3,1 sur l'échelle ouverte de Richter.

« Comme un gros bruit d'explosion, le sol et les vitres ont tremblé »

Les habitants se sont rués sur les réseaux sociaux pour vérifier qu'ils n'avaient pas rêvé. « Hoenheim : comme un gros bruit d'explosion, le sol et les vitres ont tremblé », décrit Stéphanie sur la page Facebook des DNA. « À l'Esplanade, comme un avion qui dépasse le mur du son avec des tremblements sur dix secondes », confirme Véro. À Schiltigheim, « deux gros boums ça secoue ! Quelques secondes avant, le chien a aboyé et s'est réfugié près du canapé », témoigne Olivier.

Plus tôt dans la journée, les appareils de mesure du RéNaSS avaient capté neuf imperceptibles tremblements de terre de magnitude 1,5 à 2,2 sur l'échelle de Richter (voir l'infographie ci-contre). Un phénomène relative-



Les regards se tournent vers la géothermie

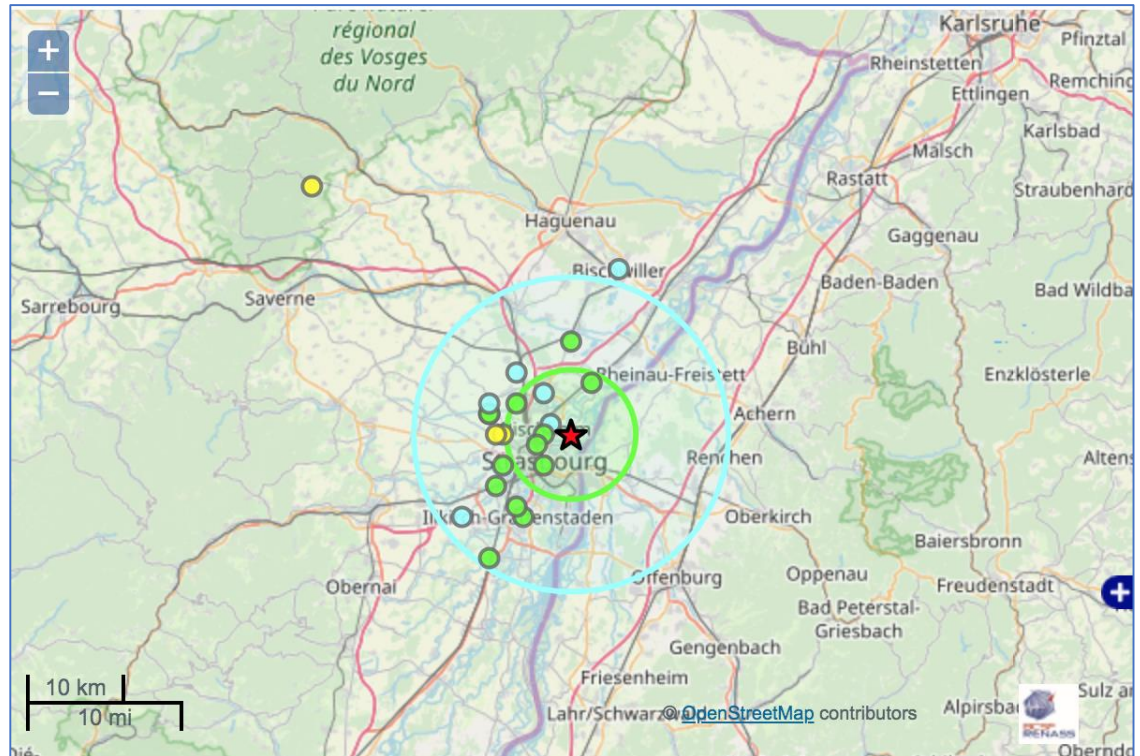
Entre le jeudi 10 octobre et le mercredi 16 octobre, les DNA avaient relevé 35 microséismes mesurés par le RéNaSS à proximité de Strasbourg. Des « événements induits », liés à une activité humaine, le site de géothermie de Reichstett-Vendenheim, qui montait en puissance. Aucun de ces microséismes ne dépassait une magnitude de 1,9 sur l'échelle ouverte de Richter. Le directeur général de Fonroche, l'exploitant du site géothermique, expliquait alors que l'injection d'eau froide dans l'un des réservoirs creusés dans le sol jusqu'à 5 300 mètres provoquait une « rétraction » de la roche capable d'induire des microséismes. Cette activité sismique était surveillée et il fallait veiller à ce que les magnitudes engendrées n'excèdent pas 2. Est-ce que le séisme enregistré ce mardi est lié à cette activité ? Plusieurs observateurs, y compris des scientifiques, sont tentés de le croire. La société Fonroche dément fermement. Au mois d'octobre, son directeur général expliquait qu'on n'était en aucun cas dans la configuration du site géothermique de Bâle le 8 décembre 2006, lorsque la pression était montée trop haut dans le réservoir, provoquant un séisme de 3,4 sur l'échelle de Richter (DNA d'hier).



Le siège de Pôle Emploi au Wacken a été évacué par mesure de précaution. DR

Séisme induit proche Schiltigheim (14:38 locale, profondeur 6km) selon BCSF-RENASS

Date (en temps universel) : 12/11/2019
 Heure (en temps universel) : 13h38
 Magnitude : 3

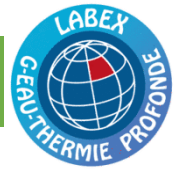


Carte d'intensités internet issue de 403 témoignages (Date de création : 13/11/2019 00:44 T.U.)

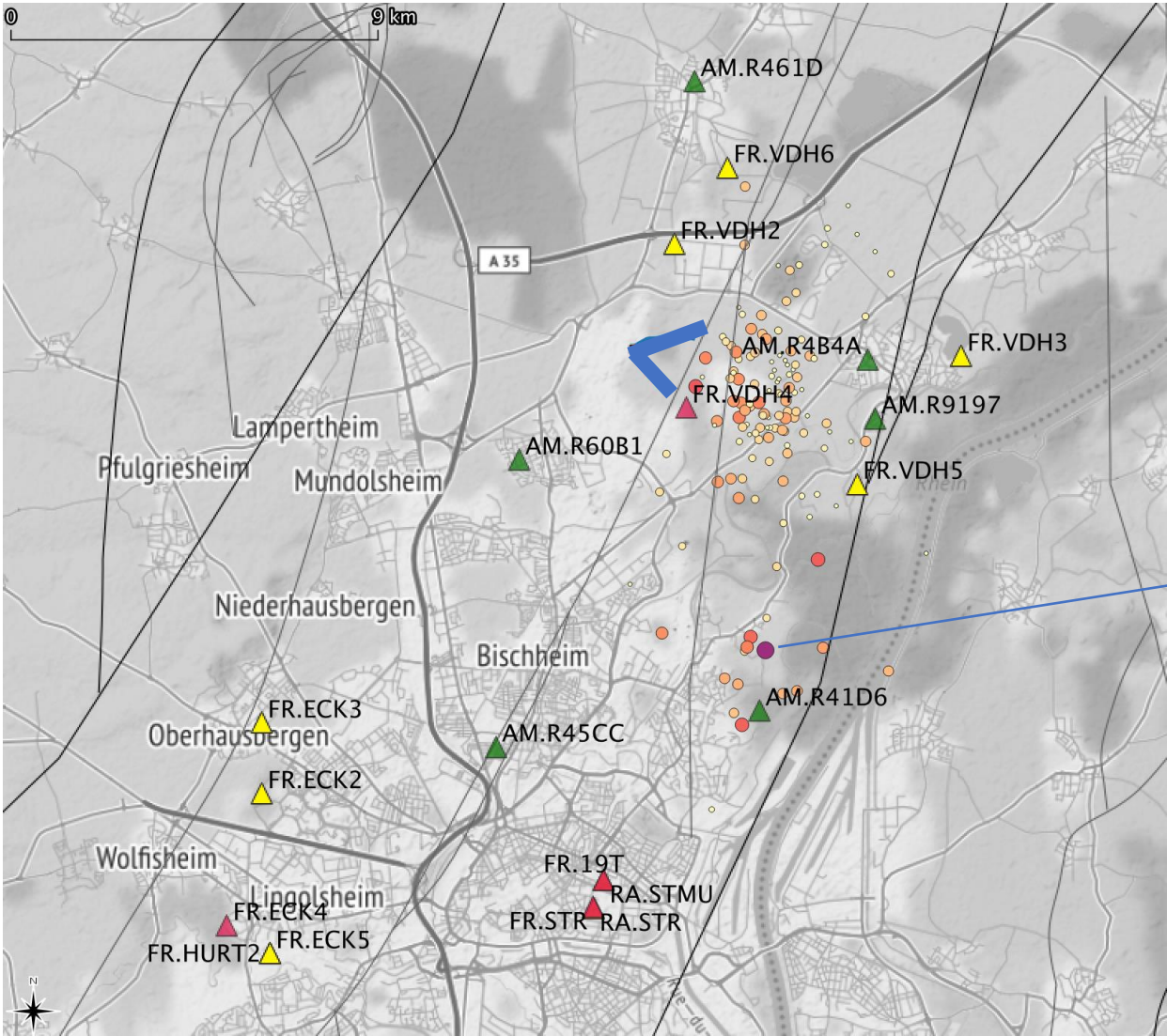
Intensités EMS98*	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X, XI, XII
dégâts potentiels	bâtiments vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	quelques effondrements partiels	nombreux effondrements partiels	nombreux effondrements généralisés
potentiels	bâtiments peu vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	effondrements partiels	effondrements nombreux à généralisés
perception humaine	non ressentis	très faible	faible	modérée	forte	brutale	très brutale	sévère	violente	extrême

HOT TOPIC!

12/11/2019 : Un séisme M3.1 induit (?)

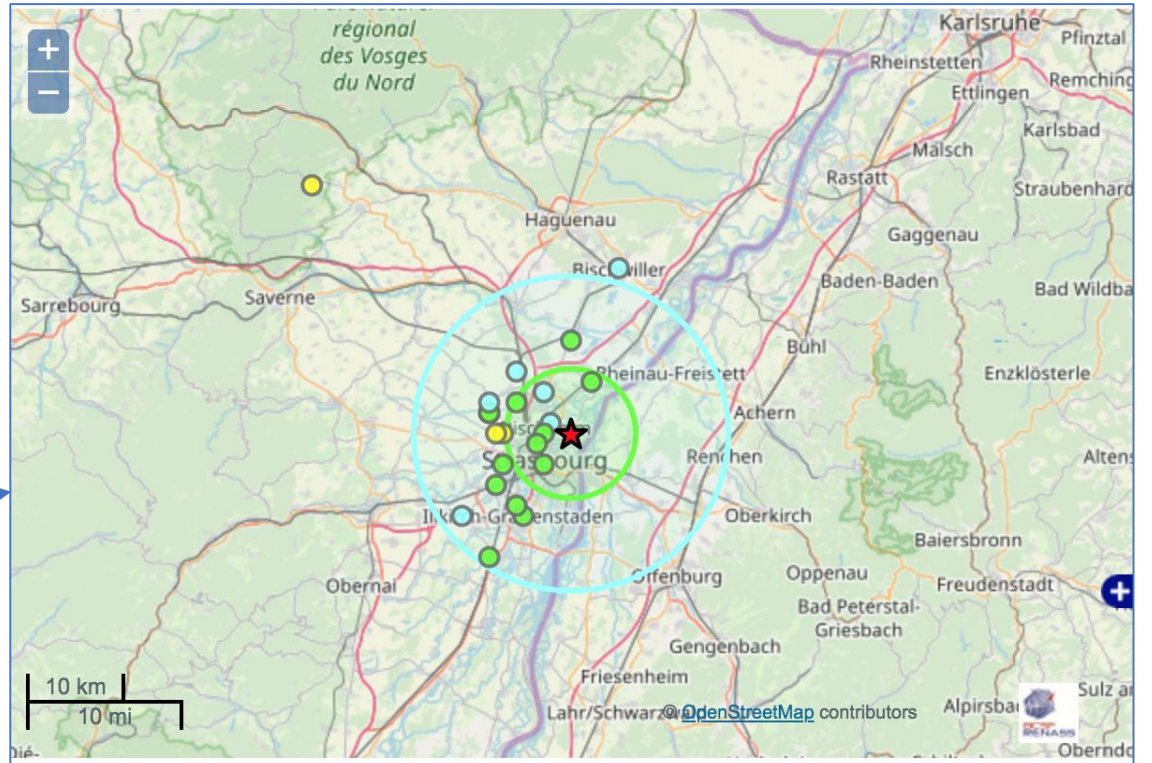


Illustre les problématiques de recherche, observation, acceptabilité



Séisme induit proche Schiltigheim (14:38 locale, profondeur 6km) selon BCSF-RENASS

Date (en temps universel) : 12/11/2019
 Heure (en temps universel) : 13h38
 Magnitude : 3



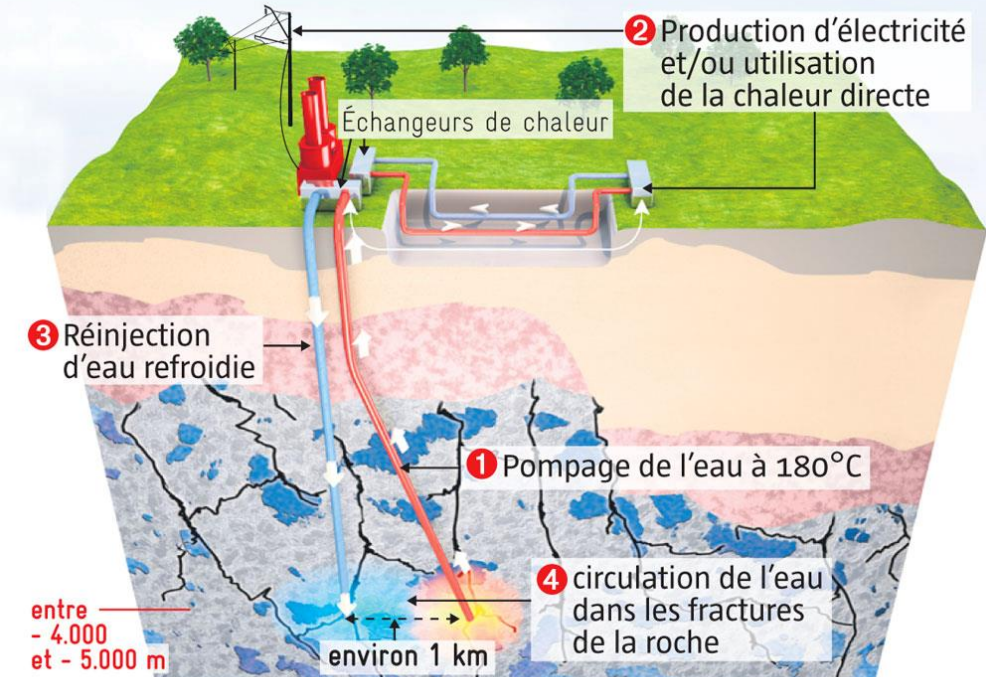
Carte d'intensités internet issue de 403 témoignages (Date de création : 13/11/2019 00:44 T.U.)

Intensités EMS98*		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X, XI, XII
dégâts potentiels	bâtiments vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	quelques effondrements partiels	nombreux effondrements partiels	nombreux effondrements	effondrements généralisés
	bâtiments peu vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	effondrements partiels	effondrements nombreux à généralisés
perception humaine		non ressenti	très faible	faible	modérée	forte	brutale	très brutale	sévère	violente	extrême

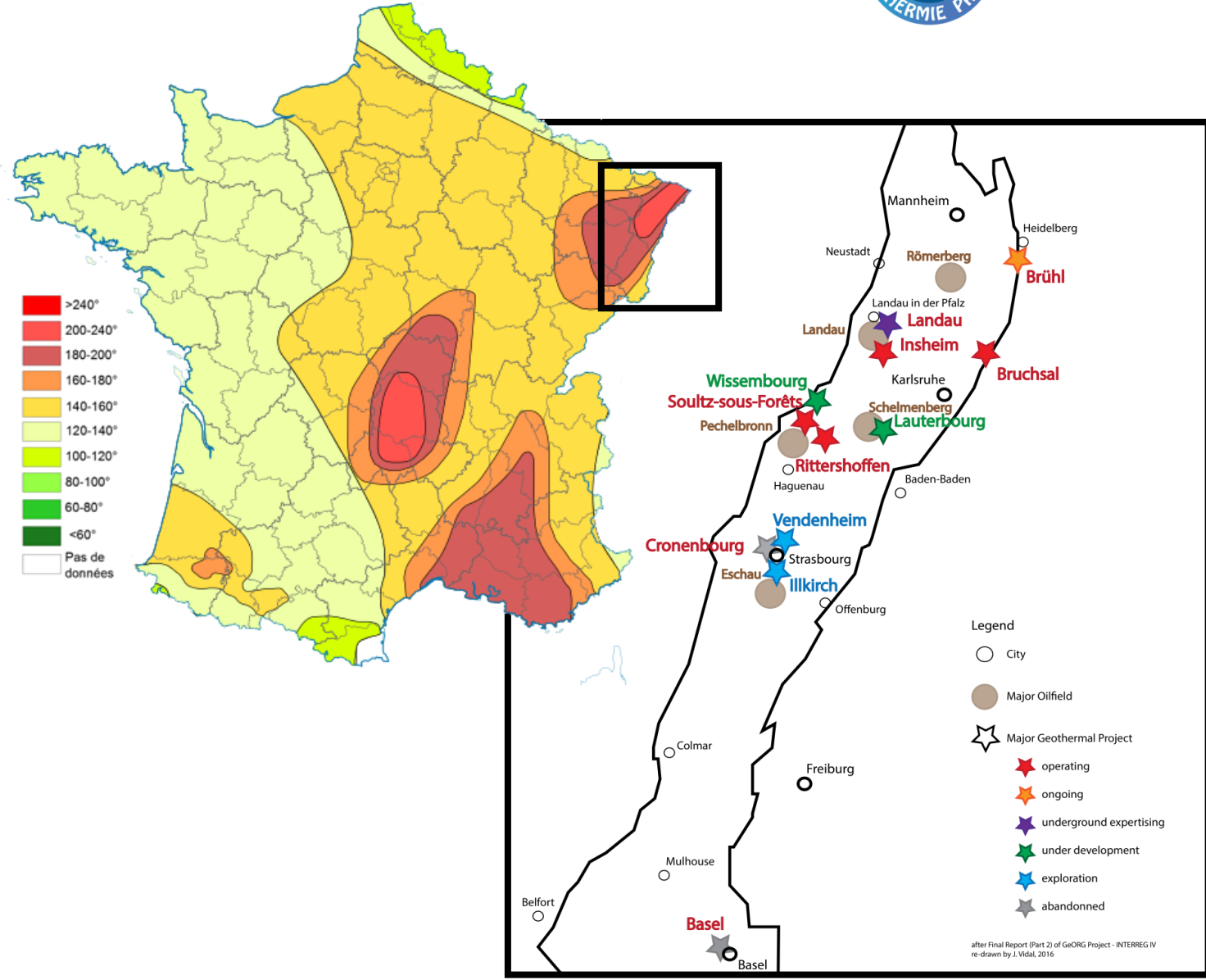
La géothermie profonde dans le fossé rhénan



PRINCIPE DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE DE HAUTE ÉNERGIE



Source : GEIE Soultz-sous-Forêts/Ecogi



after Final Report (Part 2) of GEORG Project - INTERREG IV re-drawn by J. Vidal, 2016

Sites géothermiques opérationnels



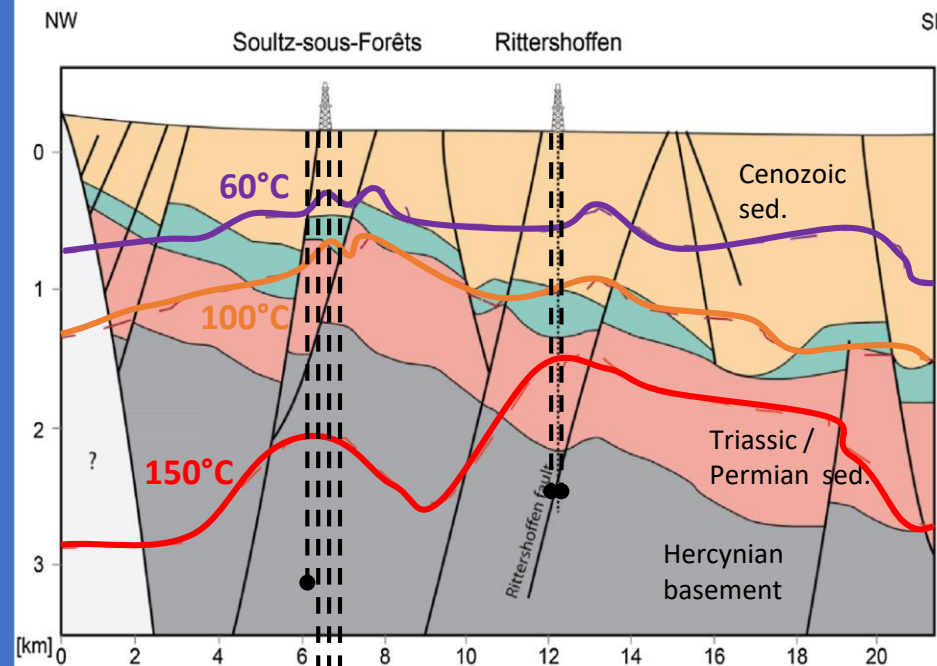
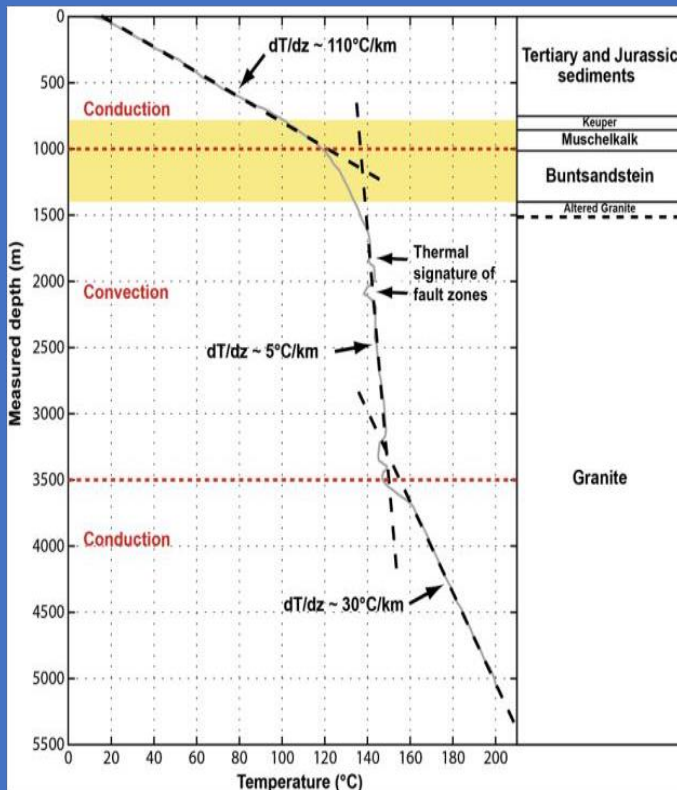
SOULTZ-SOUS-FORETS

- $dT_{\text{sedim}}/dz = 110 \text{ }^\circ\text{C} / \text{km}$
- 4 forages (3 >5000m)
- Nombreuses stimulations hydro(+ chim.)
- Redémarrage production = Juin 2016
- Co-génération elec. + chaleur

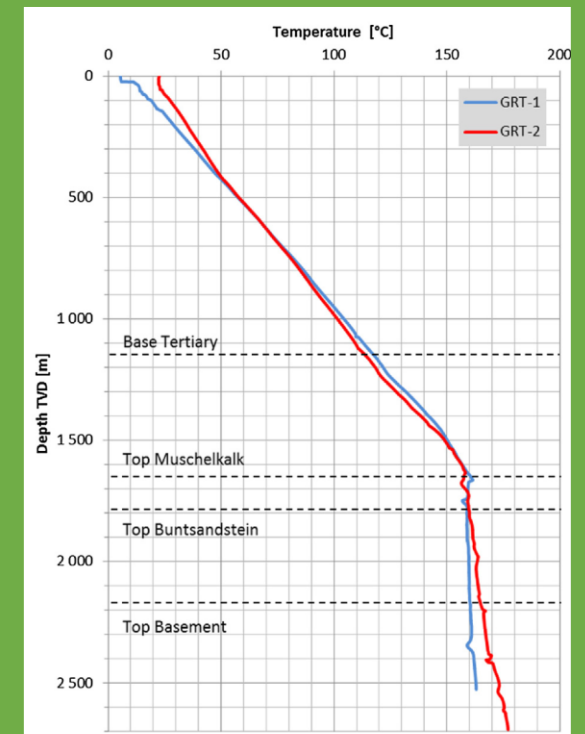


RITTERSHOFFEN

- $dT_{\text{sedim}}/dz = 85 \text{ }^\circ\text{C} / \text{km}$
- 2 forages (~2700m)
- 1 stimulation hydro
- Démarrage production = Avri 2016
- Chaleur (24MWth)



D'après GeORG (Interreg IV),
modifié par Vidal (2015)



Le Labex G-Eau-Thermie profonde



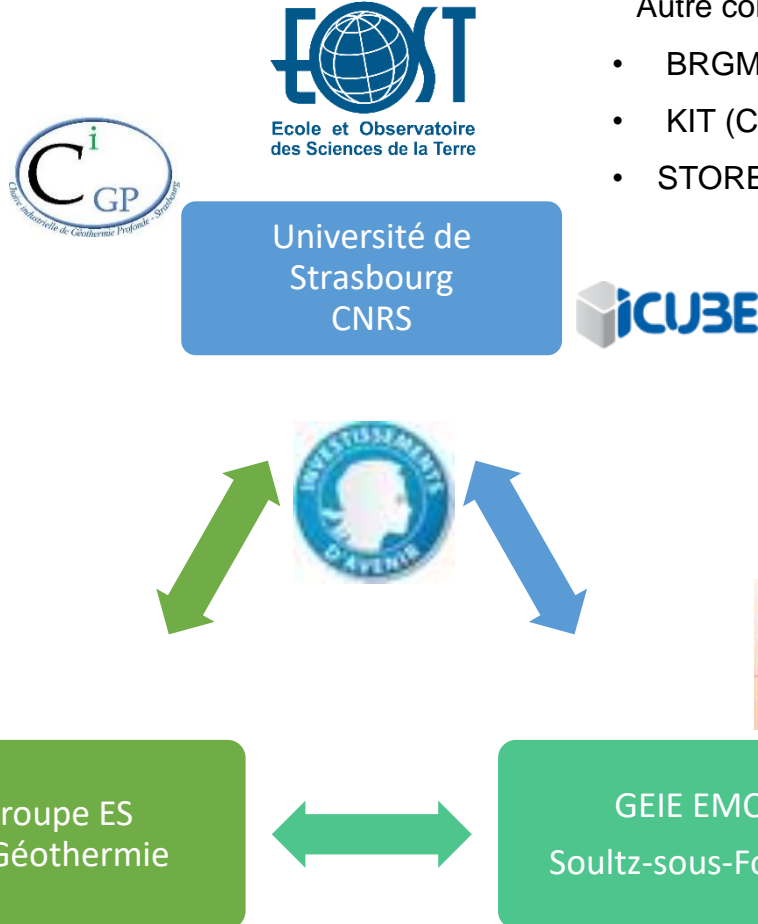
J. Schmittbuhl



J.F. Girard

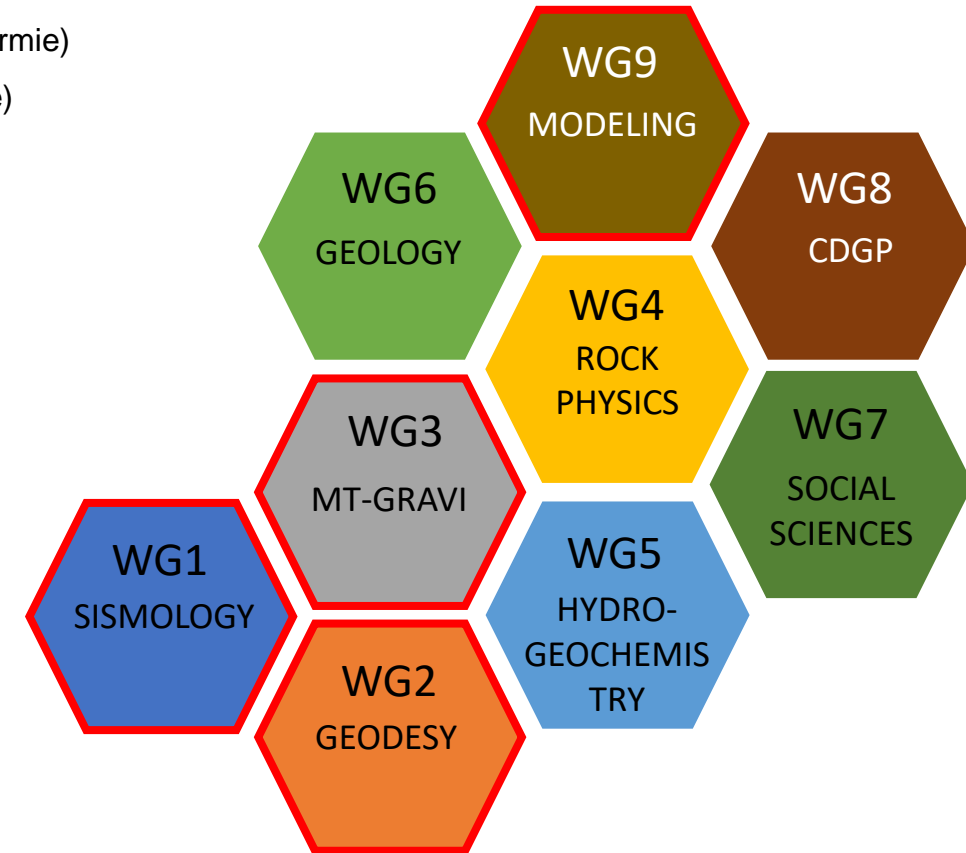


C. Baujard



Autre collaborations:

- BRGM (Division de géothermie)
- KIT (Chaire de Géothermie)
- STORENGY (2 thèses)



92 personnes impliquées

Recherche

- Un axe transversal de l'EOST (IPGS, LHyGES, UMS) + Icube, LISEC
- **Appel à projets annuels (~300 k€/an)**
- Une visibilité régionale, nationale, internationale:
« effet de levier »

Formation

- Ecole Géophysique (Module de géothermie)
- DU « gestion de projet en géothermie »

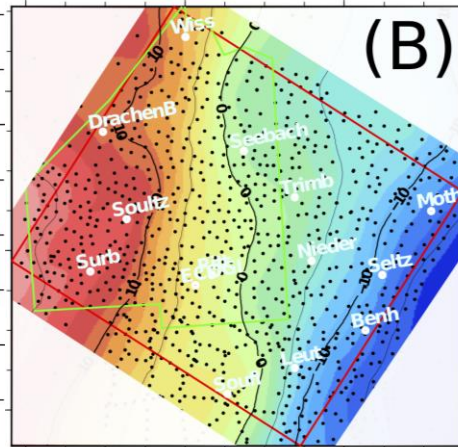
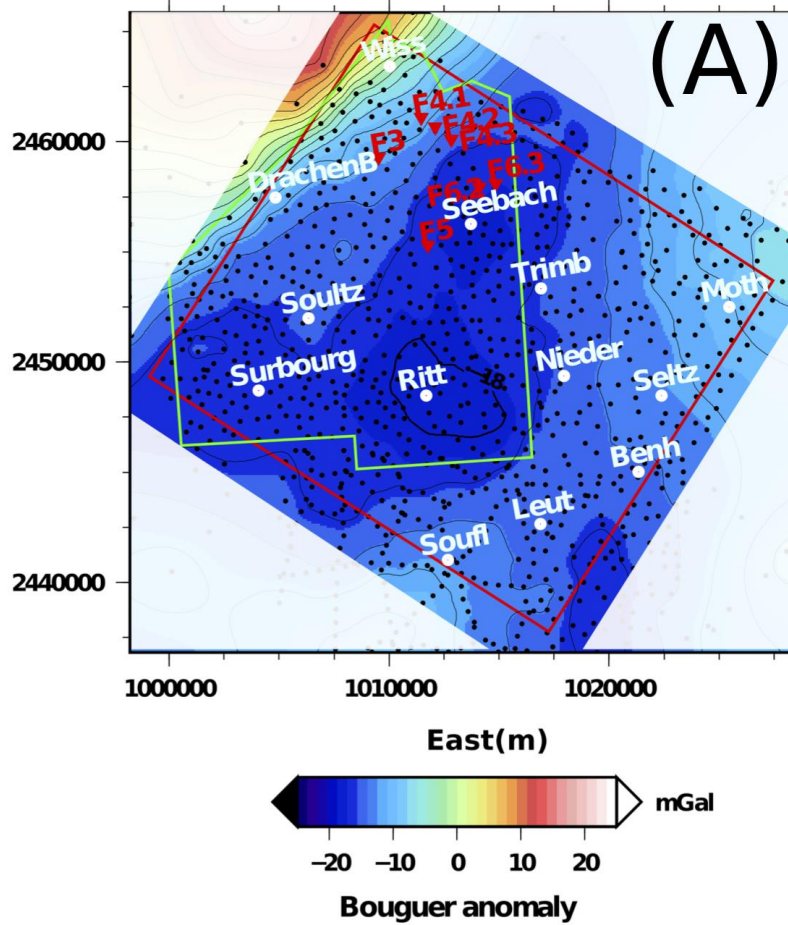
Centre de données

- CDGP: Centre de données en géothermie profonde
- Observatoire (RENASS – ObsNEF)
- Intégration dans EPOS IP TCS-AH (H2020) – nœud local EPOS

Valorisation

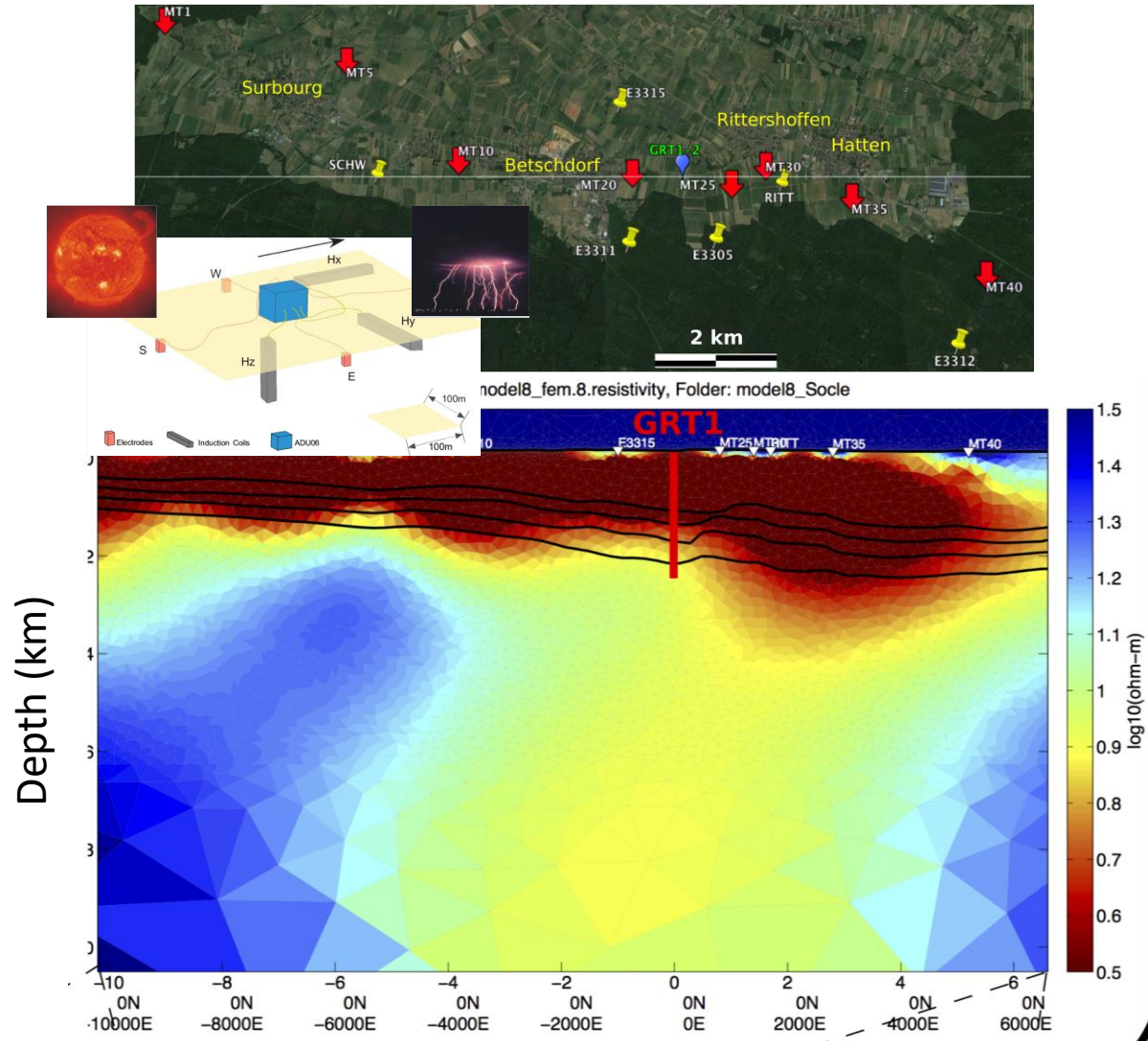
- Implications dans les grands chantiers (Soultz, Rittershoffen, Illkirch,...) / Prestations
- Données industrielles (monitoring de réservoir)
- Colloque (EGW) / Publications / Communication grand public/ Acceptabilité

Imagerie – Gravimétrie / Magnétotellurie



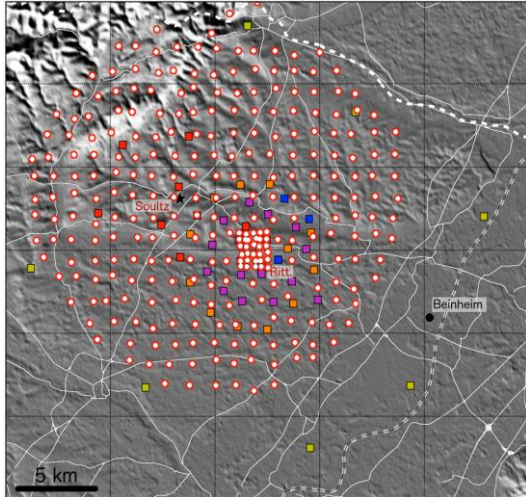
(A) = Anomalie de Bouguer observée

(B) = Anomalie de Bouguer estimée à partir du modèle géologique



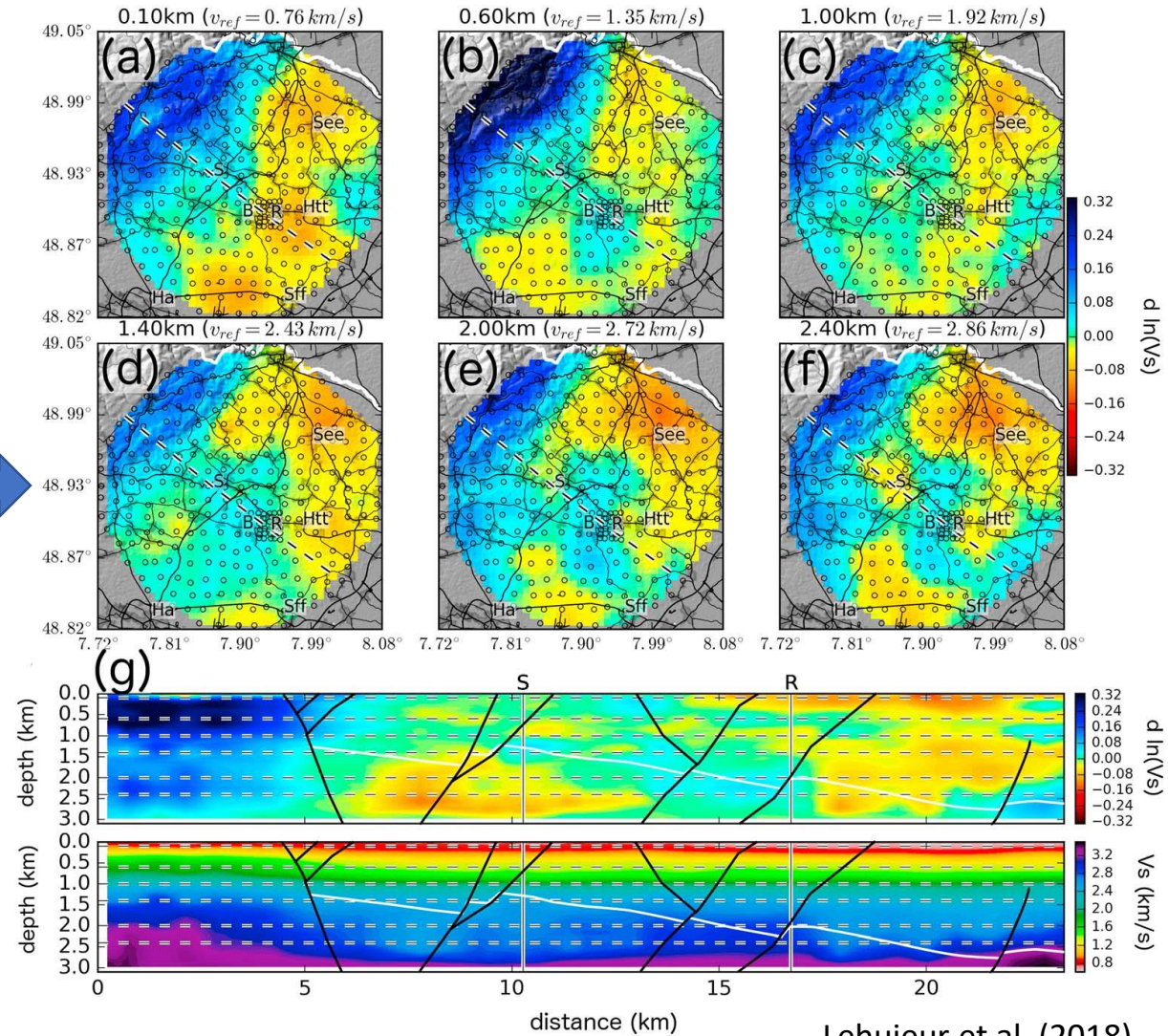
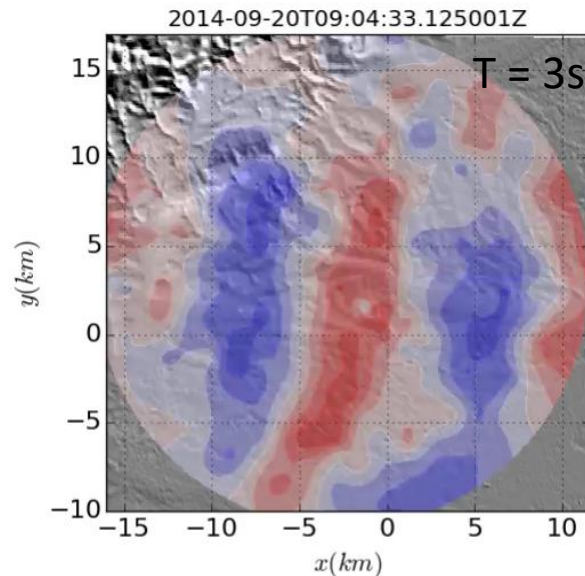
Abdelfettah et al. (2018, EGW)

Imagerie – Sismologie de bruit ambiant

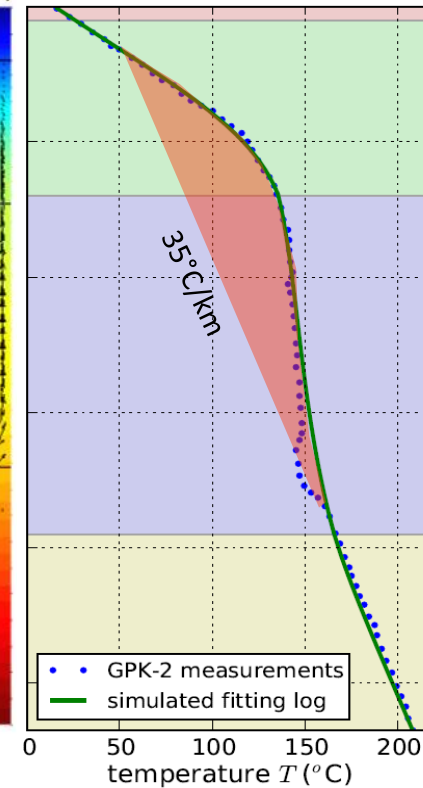
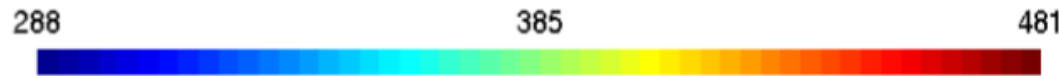
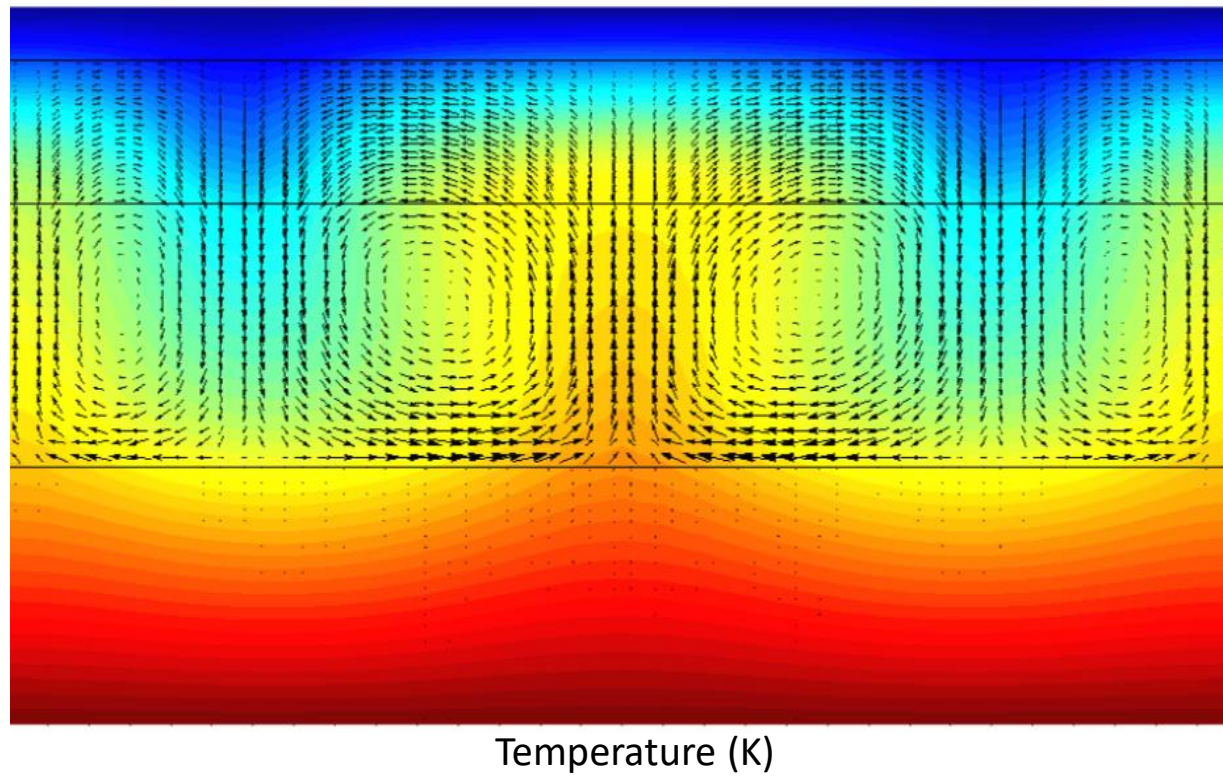
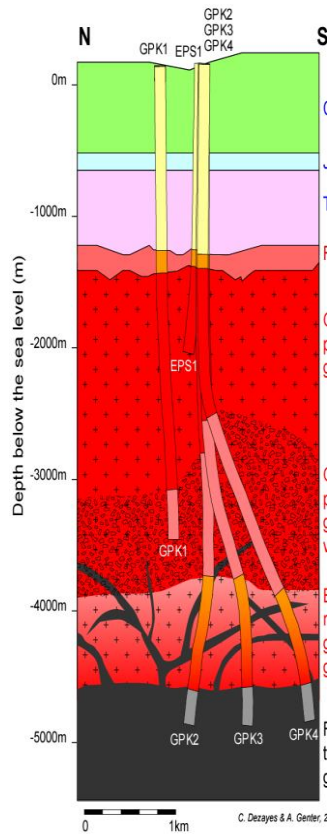


EstOf

- 288 nodes Fairfield
- Inter-stations = 1.5km
- 30 jours de mesures



Maximum Darcy velocity: 6.7 cm/yr



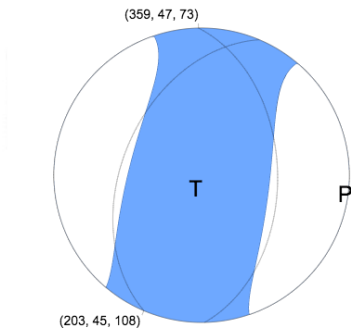
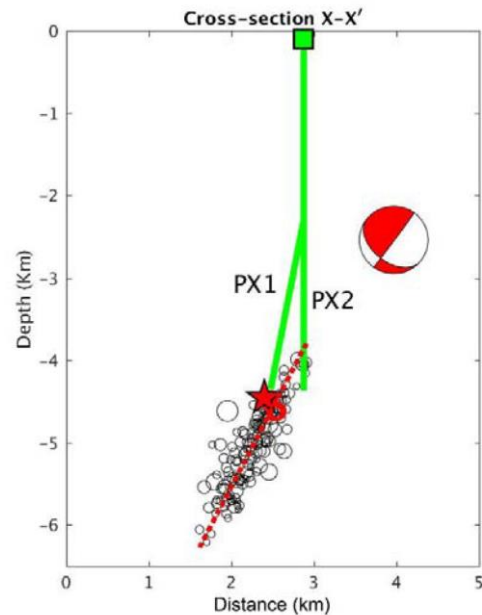
Conductive **X**

Convective

Conductive

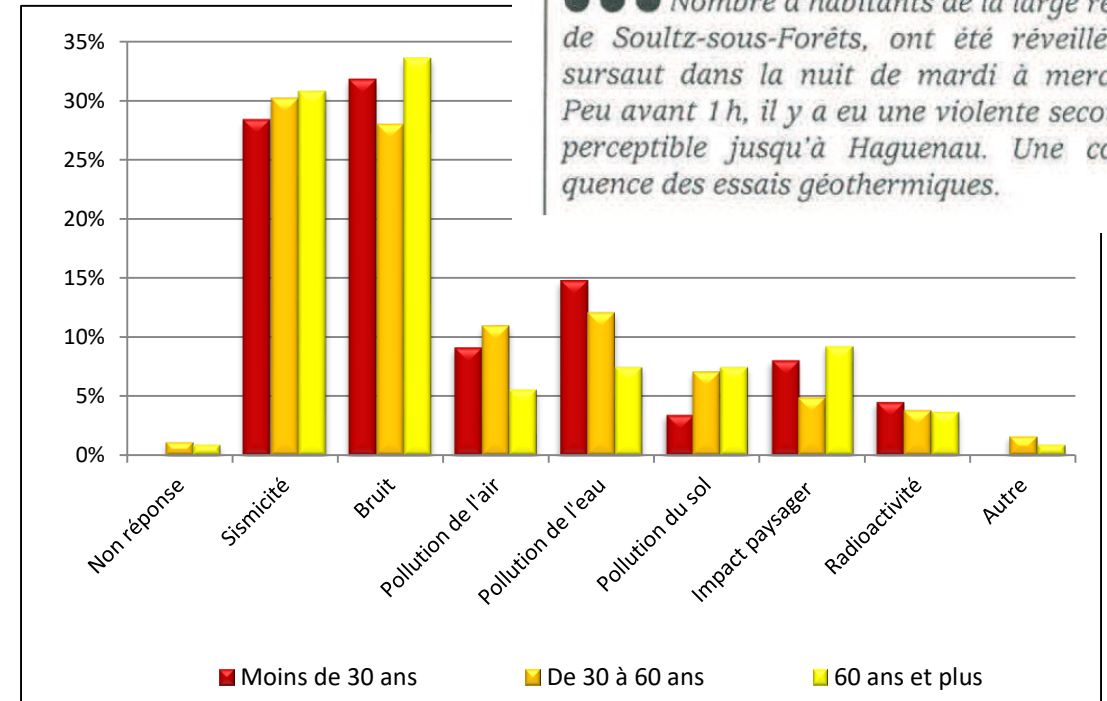
- *A weak hydraulic role of the sediment/basement transition*
- *A weak influence of the regional faults in the fluid circulation*
- *Significant lateral variations of the temperature (up to 50°C)*

Pohang – 2017 - Mw = 5.4



Soultz-sous-Forêts – 2003 - MI = 2.9

Sondage effectué à Soultz-sous-Forêts en 2012



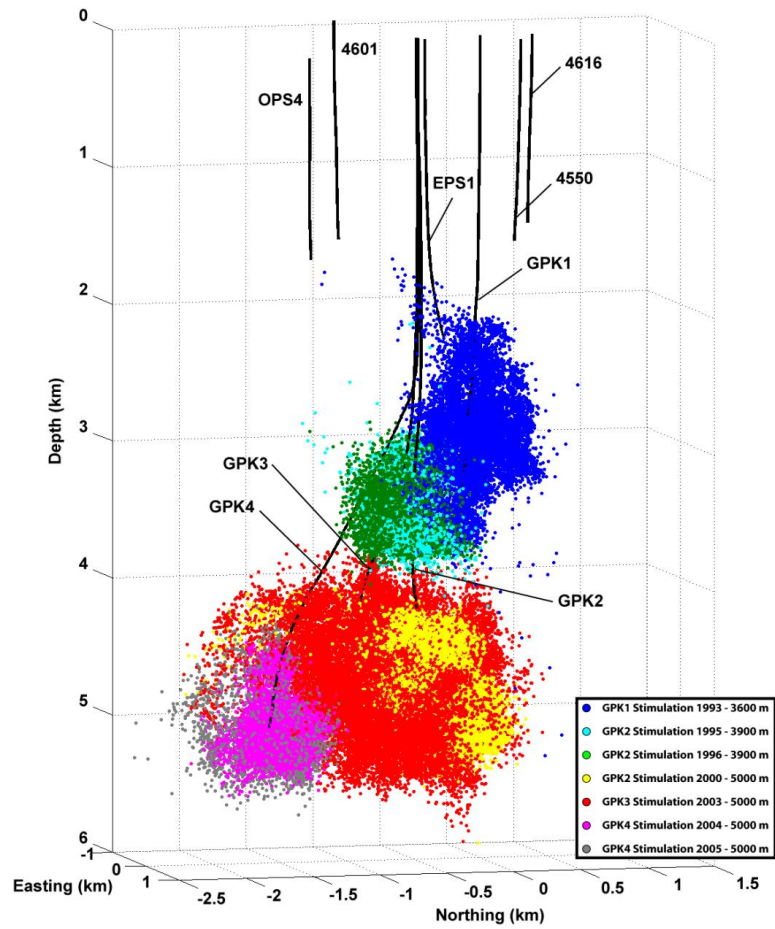
Soultz-sous-Forêts

DNA 12/06/03

Géothermie: la secousse qui inquiète la population

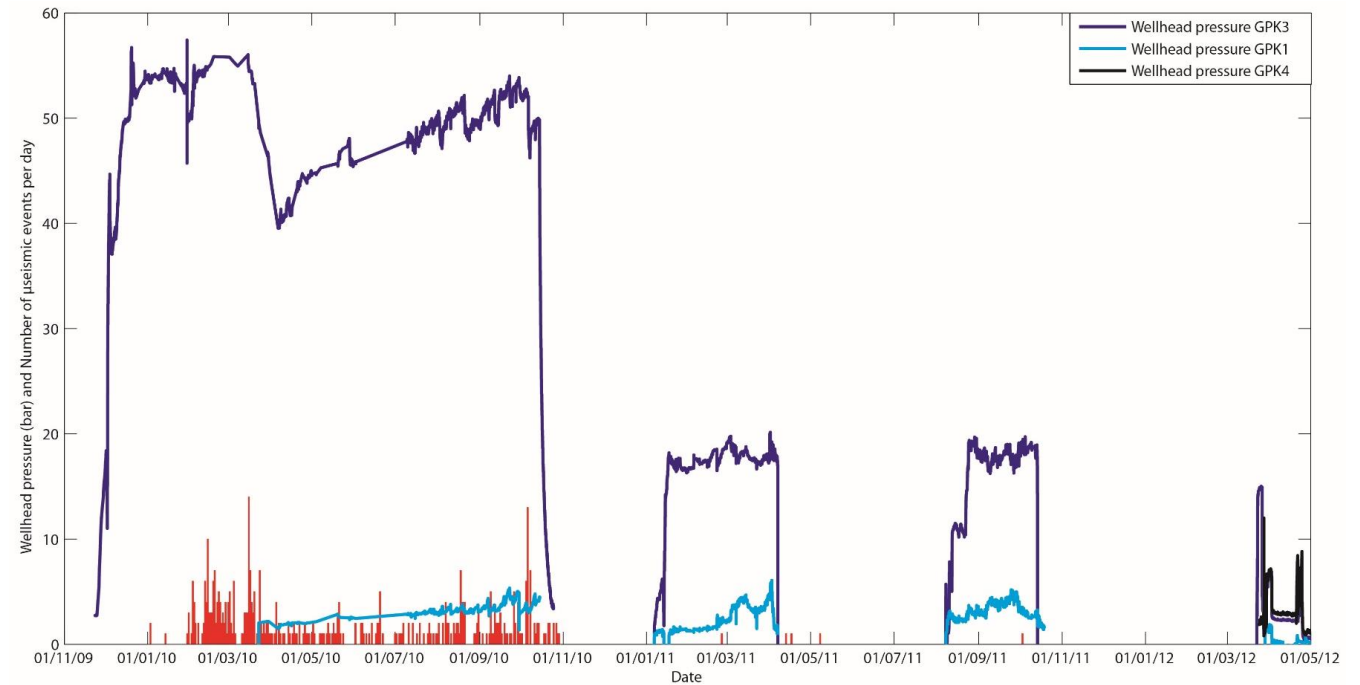
●●● Nombre d'habitants de la large région de Soultz-sous-Forêts, ont été réveillés en sursaut dans la nuit de mardi à mercredi. Peu avant 1 h, il y a eu une violente secousse, perceptible jusqu'à Haguenau. Une conséquence des essais géothermiques.

1993 -> 2005 (HDR)



© GEIE Exploitation Minière de la Chaleur / EEIG Heat Mining

2010 -> 2012 (EGS)



In 2010: WH injection overpressure ~45 bar, > 400 seismic events

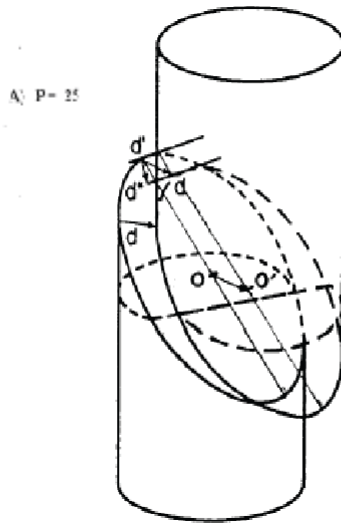
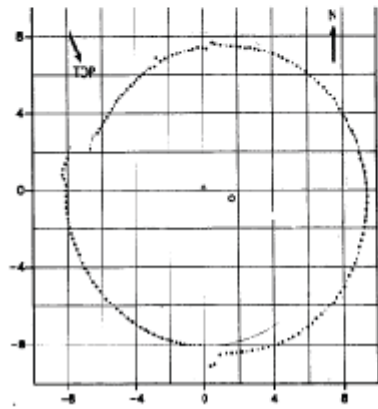
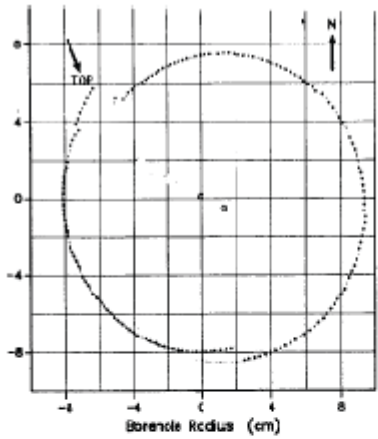
In 2011: WH injection overpressure ~20 bar, 5 seismic events

Monitoring - Sismologie



Soultz-sous-Forêts / stimulation 1993

Cornet et al. (1997)



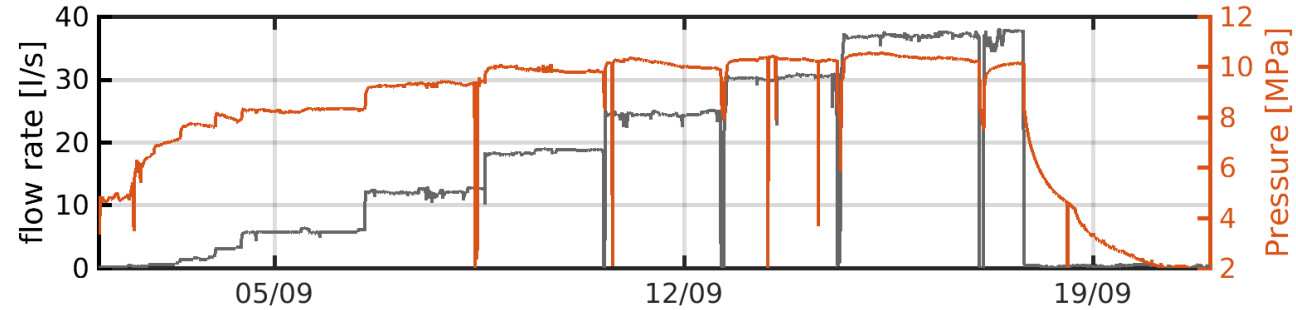
Existing fracture

Borehole geometry result from shear displacement along existing fracture (general case):

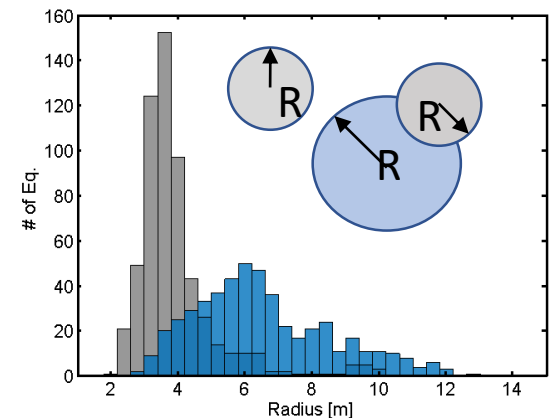
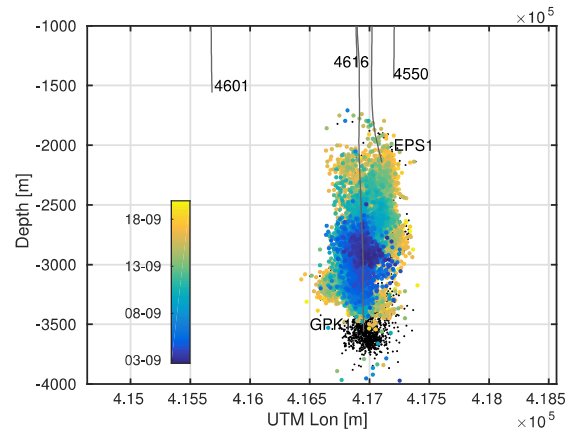
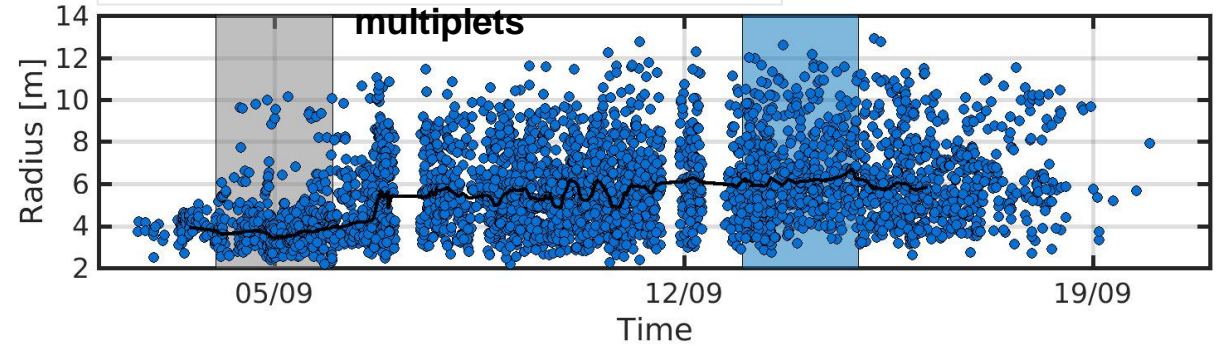
d = Displacement
 d' = Strike component
 d'' = Dip component

$M \sim 4.2 \gg M \sim 1.9$ (observé)

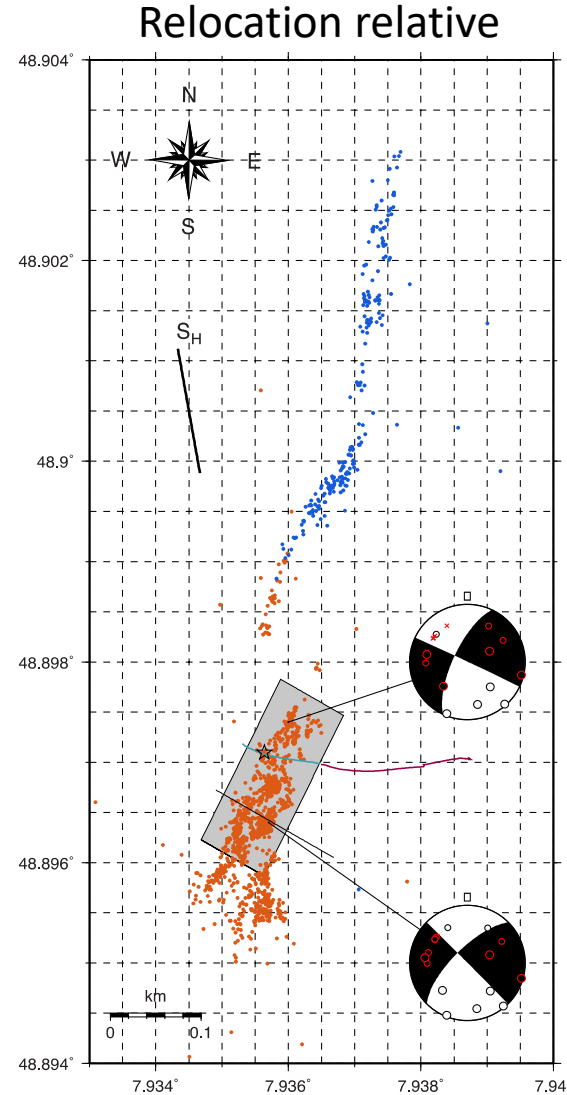
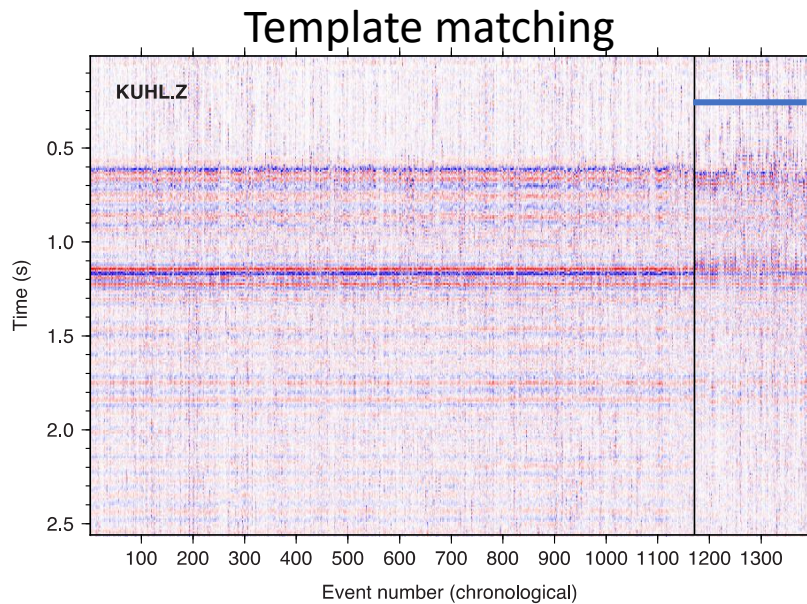
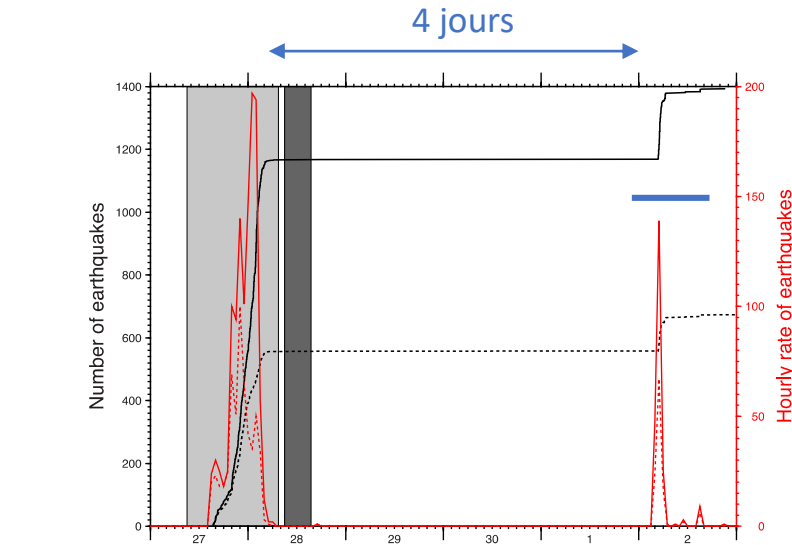
Cauchy et al. (soumis)



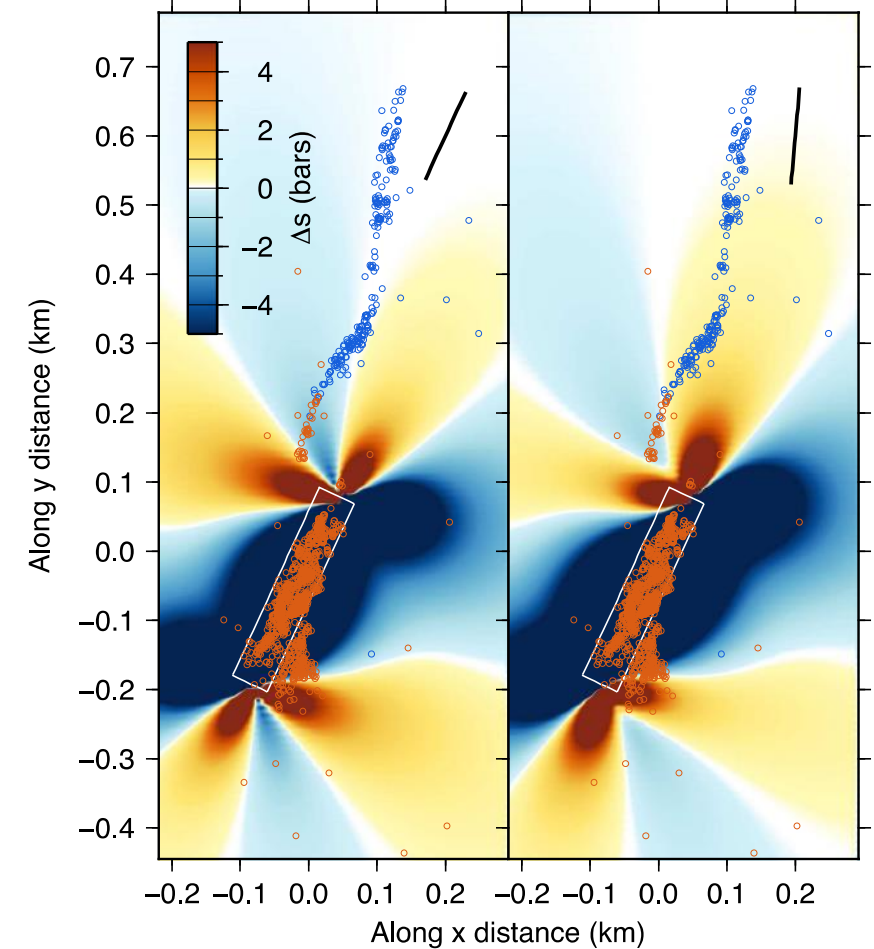
4500 séismes regroupés en 663



Rittershoffen / stimulation 2013

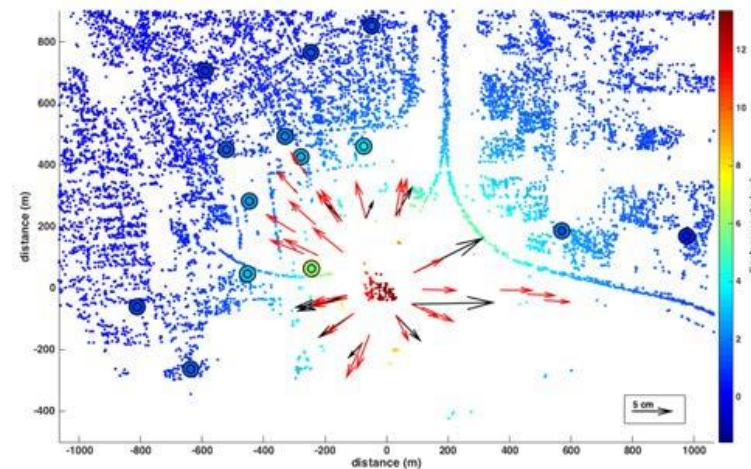
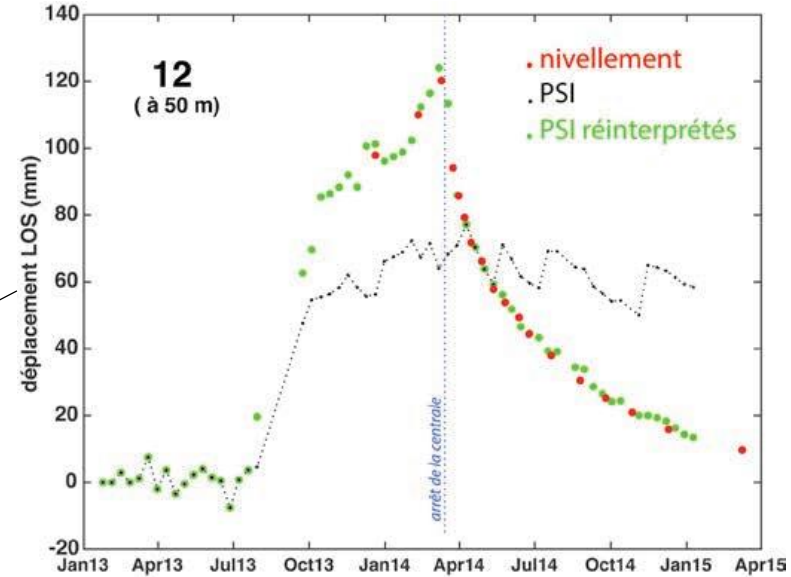
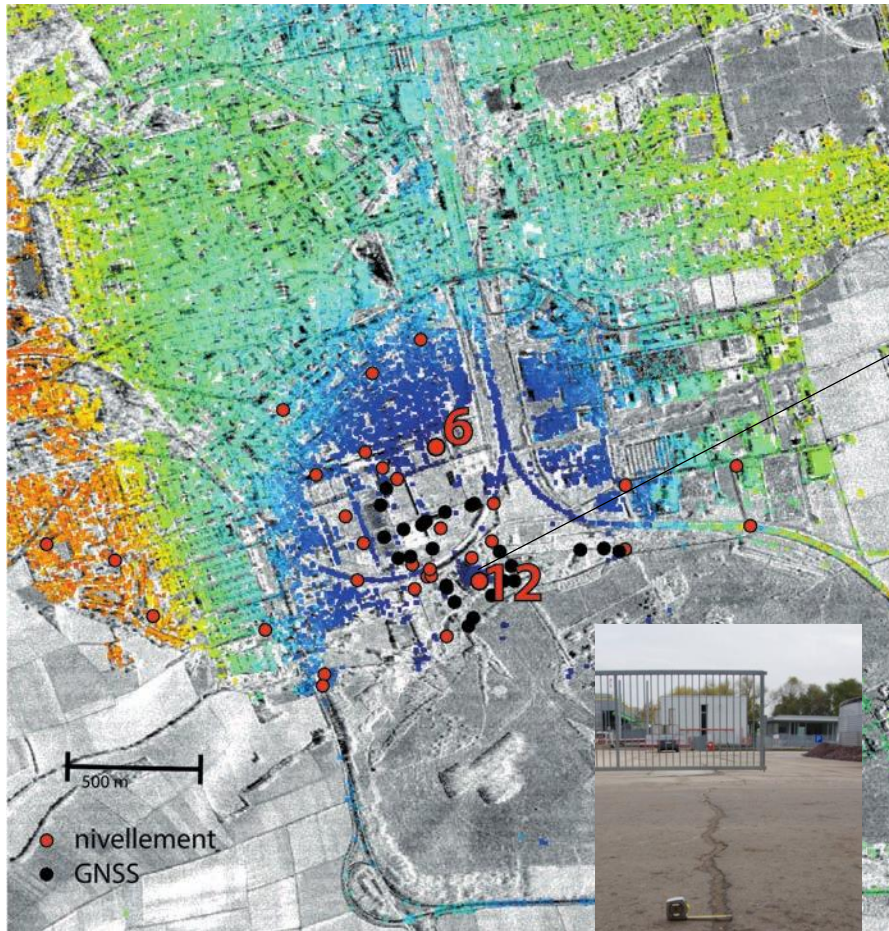


Variation contrainte Coulomb pour 1cm de glissement asismique



Landau

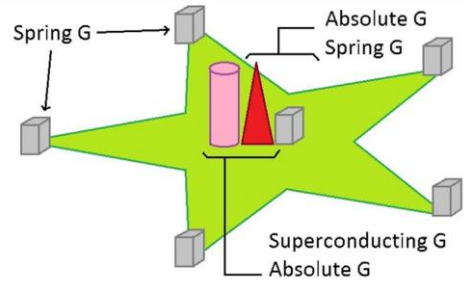
PS- INSAR / Juillet 2013 – Avril 2014



Modélisation Source :

- H = 500m
- V = 83 000m³
- Fuite au niveau du puits d'injection

Monitoring - Gravimétrie



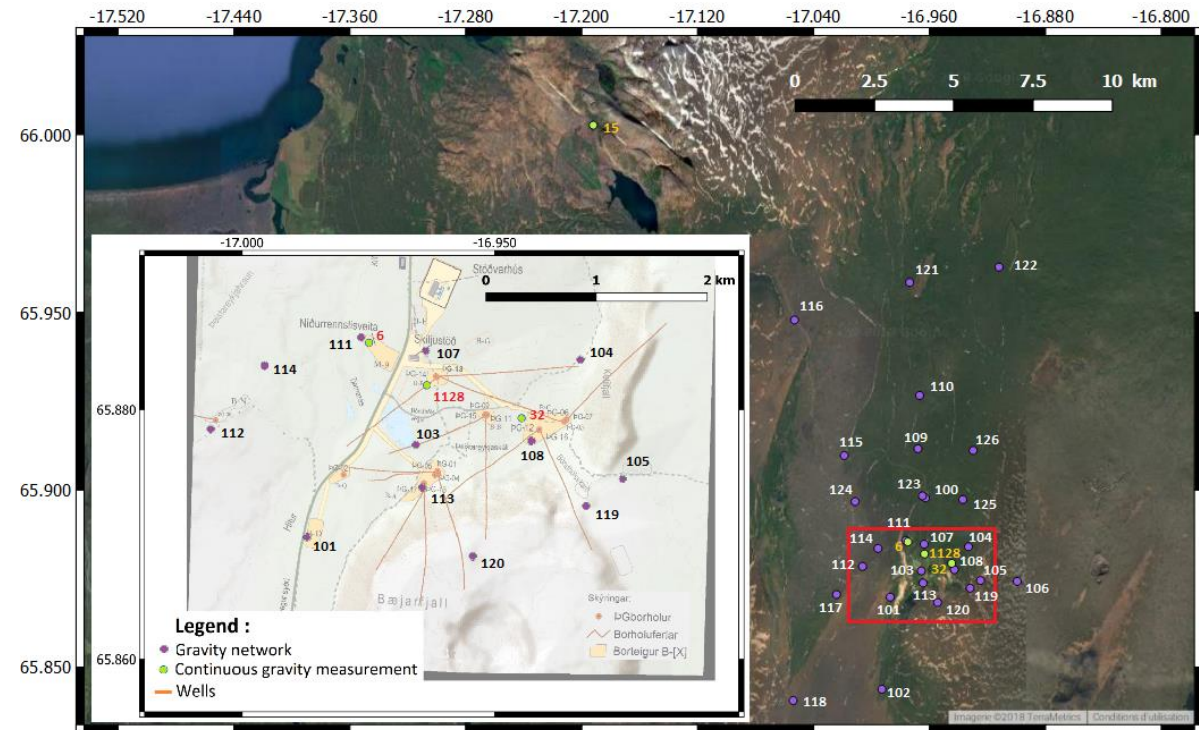
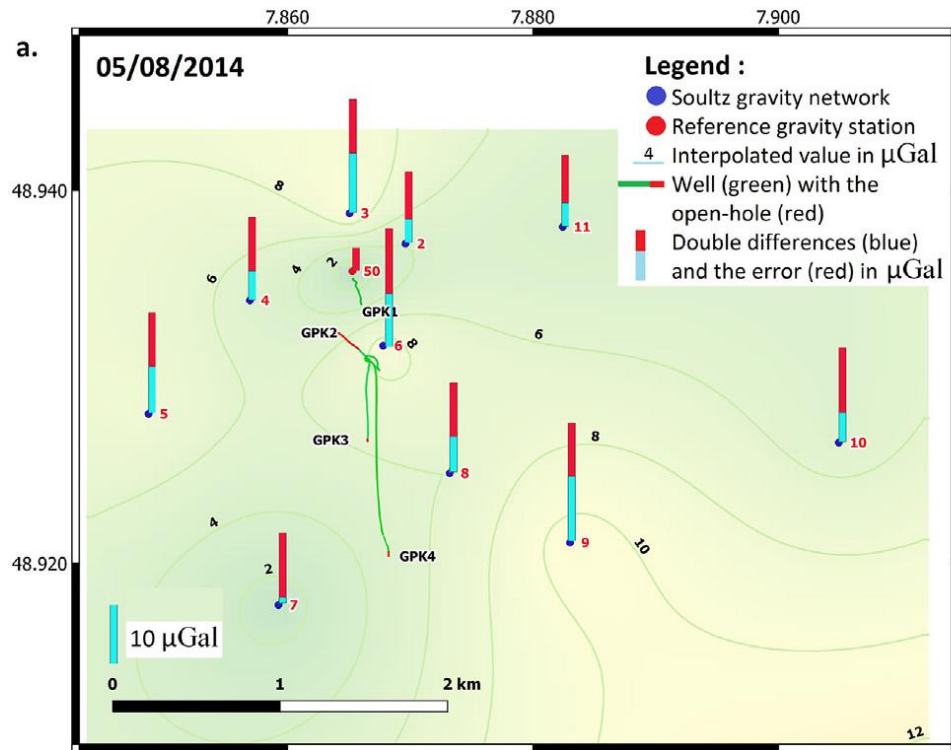
Gravimétrie hybride => variation absolue de la gravité dans le temps et dans l'espace

$$Dg_{x-x_0}^{t-t_0} = (g_x - g_{x_0})_t - (g_x - g_{x_0})_{t_0}$$



Soultz-sous-Fôrets

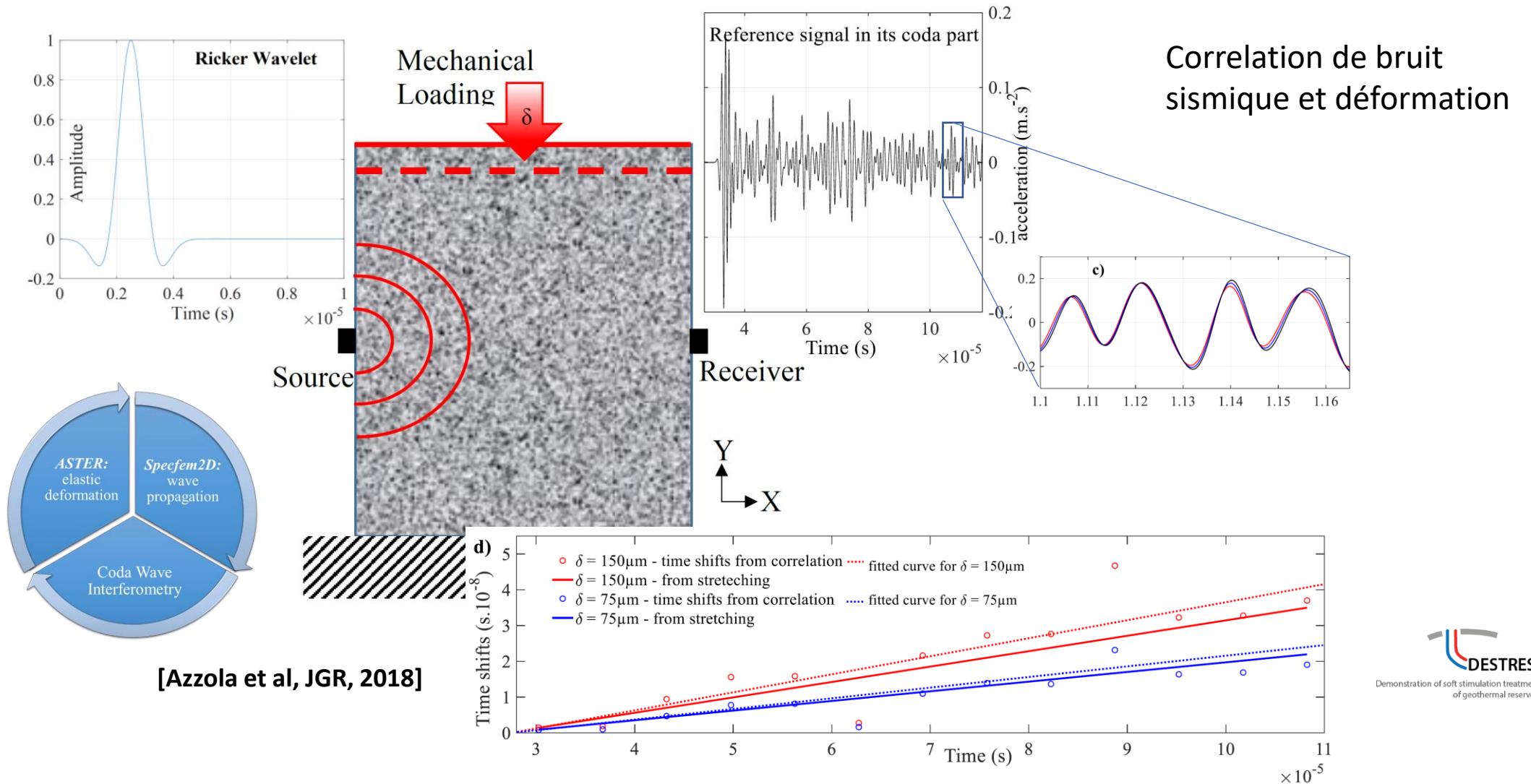
Theistareykir (Islande)



Monitoring – sismologie de bruit ambiant



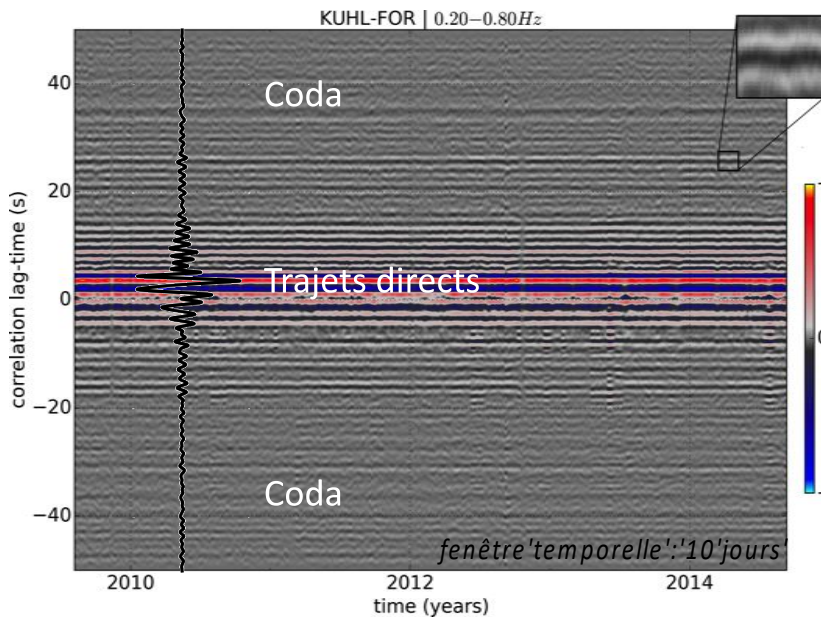
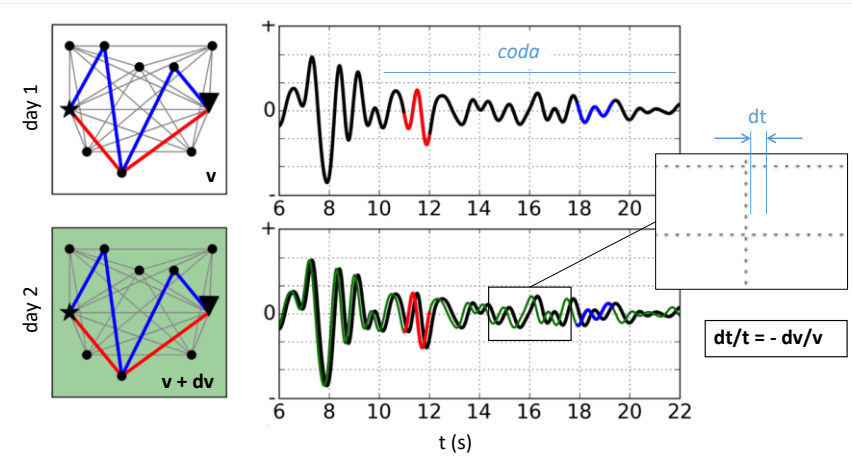
Modélisations numériques et analogiques



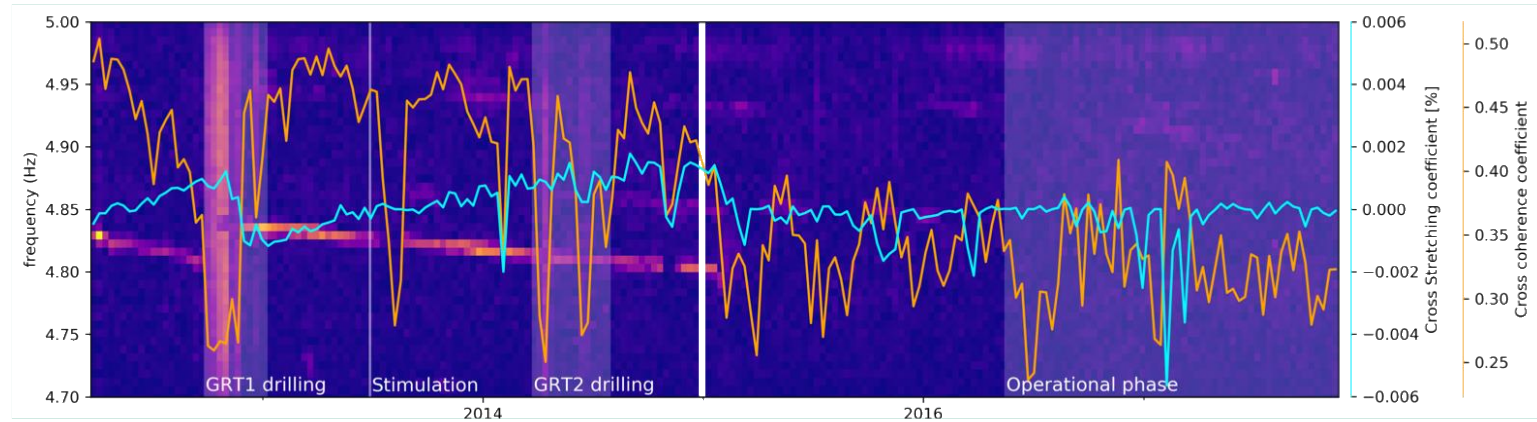
Monitoring – sismologie de bruit ambiant



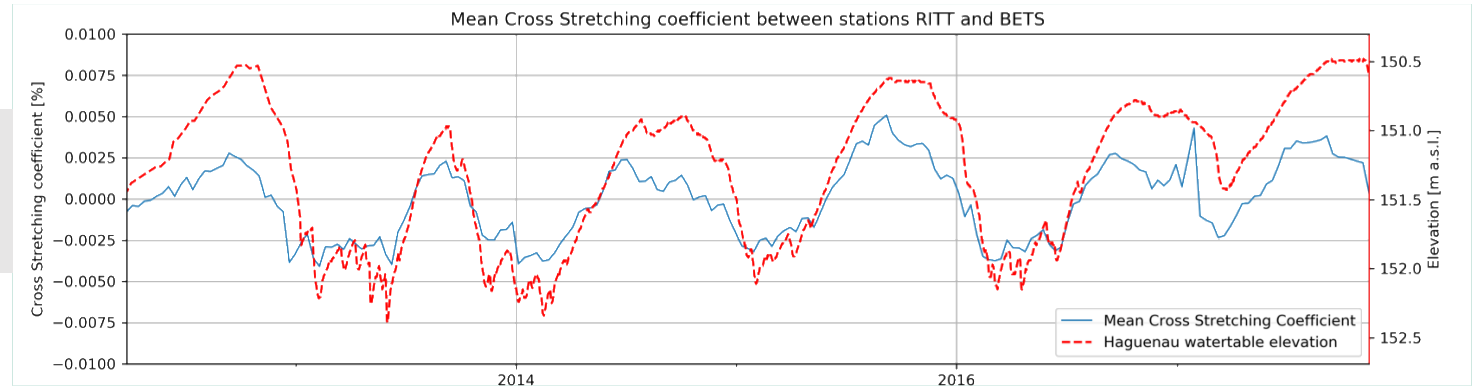
Analyses de données à Rittershoffen



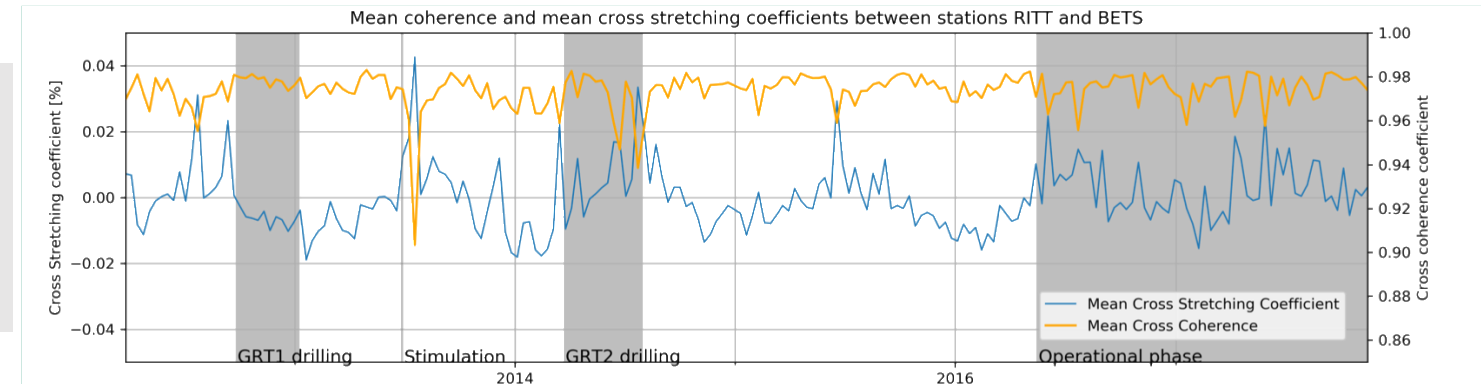
4-6 Hz



1-3 Hz



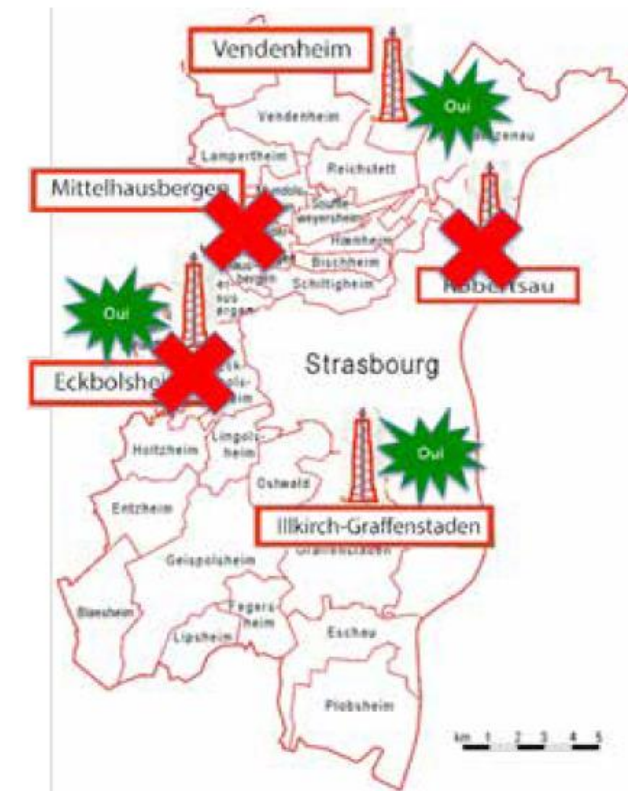
0.1 – 0.5 Hz



Mieux appréhender l'acceptabilité sociale



- Quatre enquêtes publiques menées au sein de l'Eurométropole et avril-mai 2015 : Robertsau / Eckbolsheim / Mittelhausbergen / Illkirch-Graffenstaden
- Trois corpus étudiés pour le projet ORAGÉO :
 - Documents produits dans le cadre des enquêtes publiques
 - Médias locaux
 - Entretiens
- Une « bonne » communication ne constitue pas une garantie pour le « bon » accueil d'un projet
- L'adhésion/contestation des projets se fait sur un mode éclairé et informé
- La forme des débats dépend du contexte, et notamment de la façon dont les échanges entre opérateurs, élus et résidents se sont engagés
- Distinction entre « projets ancrés » dans le territoire et « projets hors-sol »

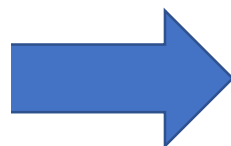


P. Chavot, A. Masseran, Y. Serrano

Le projet ITI G-eau-TE (Evolution du LabEx G-eau-thermie Profonde)

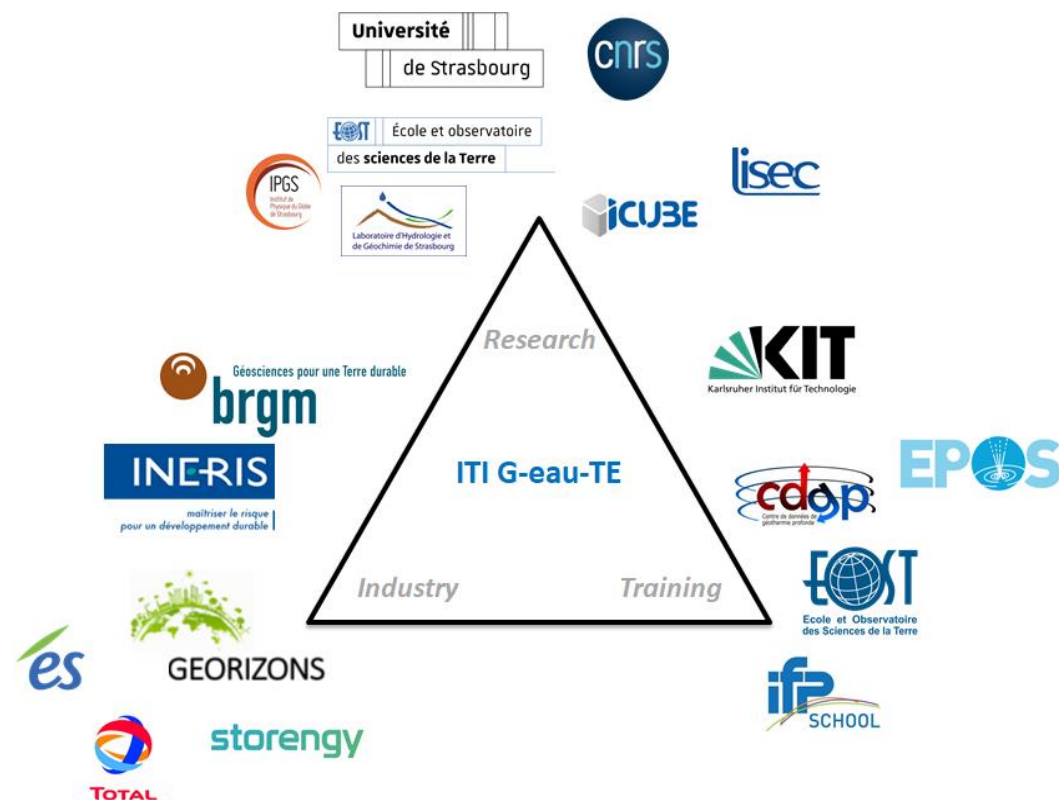


Labex G-Eau-Thermie Profonde



ITI G-Eau-TE

Géosciences pour la Transition Energétique: valorisation de l'eau profonde du sous-sol



- Pour le **développement de la filière géothermie profonde** :
 - a) la multiplication majeure (facteur 100) du nombre d'installations
 - b) exploiter des ressources à très haute température (400-500°C)
 - c) développer les co-productions : chaleur/électricité; production de métaux rares (Lithium); production d'hydrogène natif ; stockage de la chaleur , ...
- **Exploration/monitoring**: imagerie « bas coût »; imagerie de la température/du fluide mobile; développements autour de la fibre optique (e.g. DTS, DAS), imagerie de la déformation asismique, de la nucléation de la sismicité.
- **Maîtrise des risques** (sismicité induite/déclenchée): développement des outils d'observation, guides de bonnes pratiques, acceptabilité sociétale, gouvernance « élargie »
- **Développement de la réglementation** en lien avec les nouveaux usages du sous-sol dans le cadre de la transition énergétique.
- **Lien recherche/observatoire/régulation de la surveillance**: développement du partenariat avec la DREAL (accord de partage de données sismologiques et géodésiques entre EOST, ES, Fonroche, GEIE EMC) – vers une agence multipartite de régulation
- **Optimisation de l'exploitation**: asservissement débit de production/sismicité; surveillance/fiabilisation des pompes de production (HT, fluide corrosif, particules solides)
- Evaluer et développer des solutions utilisant le sous-sol pour accompagner le **démantèlement énergétique territorial suite à l'arrêt de la centrale nucléaire de Fessenheim.**

- Un appui fort sur l'existant LabEx G-eau-Thermie Profonde
- Un fil directeur unique dans le domaine de la transition énergétique : le rôle du sous-sol dans la transition énergétique – la place de l'eau « minière »
- Axes de recherche :
 - I. **Exploration du réservoir et évaluation de la ressource** : imagerie, caractérisation, modèle géologique de réservoir
 - II. **L'accès au réservoir** : réalisation des puits, développement du réservoir (stimulation hydraulique, thermique, chimique)
 - III. **Exploitation du réservoir** : ingénierie de réservoir, optimisation de l'exploitation, suivi de réservoir, maîtrise des risques environnementaux (incluant les risques sismiques)
 - IV. **Durabilité, acceptabilité sociétale, réglementations**
 - V. **Instrumentation** : fibre optique, réseaux denses de surface, observatoire profond, etc
 - VI. **Gestion des données (CDGP)** : archivage, standardisation (FAIR), distribution, intégration dans les réseaux internationaux (e.g. EPOS, RESIF)

- Le rôle de l'eau dans d'autres ressources énergétiques du sous-sol:
 - (co)production d'hydrogène, de lithium, etc
 - Stockage de chaleur, de CO₂, etc,
 - Eau => production de la ressource (interactions fluides/roches) + transport + comportement mécanique
- L'étude des impacts environnementaux de l'exploitation énergétique du sous-sol en particulier sur les ressources en eau
 - Impacts de l'exploitation énergétique sur les propriétés thermiques, chimiques, biologiques des aquifères d'eau potable
 - Concurrence entre exploitation énergétique du sous-sol et exploitation des ressources en eau, etc.
- Le développement d'études sur des réservoirs géologiques analogues



- Modèle d'Ecole Universitaire de Recherche
- Base = formations de l'EOST dans le domaine de l'exploration du sous-sol
- Master GEST : Structuration des filières énergétiques du sous-sol en vue de la transition énergétique
 - Création d'un parcours international M/D ITI avec une place importante aux projets personnels et stages de terrain et en entreprise (30% en M1, 75% en M2)
 - Création d'un parcours original en double diplôme à l'Ecole: Ingénieur/Docteur en géophysique (10% de l'effectif)
 - Forte participation de l'IFP School / double diplôme
- Doctorant: un modèle 'ITN' local (12-15 étudiants) – lien avec les sites régionaux

