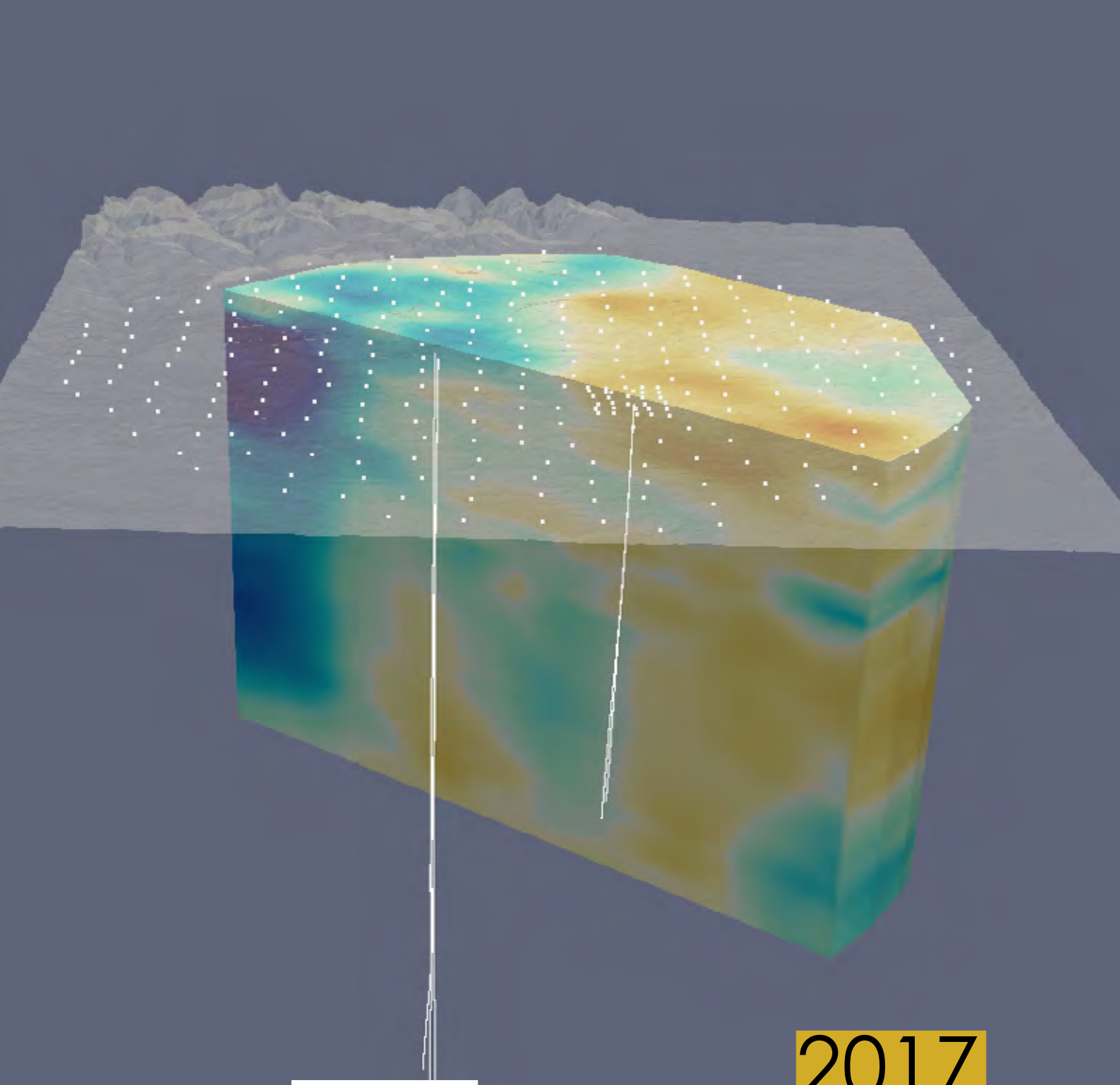


2017

LabEx

RAPPORT D'ACTIVITÉ

G-EAU-THERMIE PROFONDE

SOMMAIRE

03. Editorial
04. Le LabEx G-eau-thermie Profonde
06. La Chaire industrielle de géothermie profonde
08. Organisation
13. Bilan Financier
16. Faits et évènements marquants
18. Recherche - Projets LabEx
28. Recherche - Grands Projets
38. Valorisation et Communication
44. Formation
46. Perspectives
48. Entretiens

RETOUR SUR 2017

par Jean Schmittbuhl
Responsable du LabEx G-eau-thermie Profonde

L'année 2017 est pour le LabEx G-eau-thermie Profonde une année de maturité, marquée par l'aboutissement de plusieurs projets importants initiés au début du LabEx. Il aura fallu six années pour que ces premiers grands projets aboutissent. Les développements menés montrent toute l'importance de la structuration dans la durée du Labex, au-delà du cycle quadriennal des projets ANR ou européens, et des projets quinquennaux des laboratoires (UMR).

Le plus emblématique de ces projets est certainement celui initié par la première thèse du Labex, menée par Maximilien Lehujeur, sur le développement d'une imagerie de réservoir géothermique très innovatrice. Basée sur la mesure du bruit sismique ambiant émis par la Mer du Nord et l'activité humaine régionale, cette technique passive, continue dans le temps, à faible coût, peut mettre en évidence des variations de température ou de circulation de fluide en profondeur. Elle a atteint son objectif avec la production d'une image tridimensionnelle du sous-sol sur plusieurs kilomètres de profondeur (voir image de couverture), qui s'étend sur toute la région du Nord de l'Alsace où sont implantés le site historique de Soultz-sous-Forêts mais aussi le récent projet de Rittershoffen et où devraient se développer d'autres projets comme celui de Wissembourg. Cette image pourra être comparée aux résultats de la campagne de sismique active qui sera lancée par Electricité de Strasbourg en 2018. Les développements effectués au sein du Labex ont suscité l'intérêt d'un nouveau partenaire industriel, Storengy/Engie, qui a choisi de s'y associer en cofinançant deux nouvelles thèses (Eric Henrion et Damian Kula) autour de l'application de ces techniques au monitoring des réservoirs. C'est le premier pas d'une ouverture pluri-partenariale au sein du Labex et plus particulièrement de la Chaire industrielle de géothermie profonde (CIGP), qui s'est amplifiée en fin d'année avec l'initiation d'un projet soutenu par Total sur les questions de production d'hydrogène naturel dans les réservoirs géothermaux.

Un second projet marquant est celui qui a permis le développement du Centre de données de géothermie profonde (CDGP). Son objectif est de préserver, archiver et diffuser les données acquises sur les sites de géothermie profonde du fossé rhénan, voire plus largement. La première phase du projet est de pérenniser l'important patrimoine scientifique acquis autour du projet pilote européen de Soultz-sous-Forêts, de permettre à la communauté scientifique de poursuivre ses recherches ainsi que d'initier des actions de formation auprès des étudiants. Les premières données du CDGP sont à présent en ligne sur le site : https://cdgp.u-strasbg.fr/ pour les scientifiques du monde entier avec un processus avancé de suivi de l'utilisation des données dans le respect de leurs propriétaires.

Le troisième élément important de cette année 2017 est la montée en puissance des quatre projets issus de l'effet de levier du LabEx : à savoir les projets européens DESTRESS et EPOS-AH, le projet EGS Alsace soutenu par l'ADEME et l'ANR Cantare. Ils sont présentés spécifiquement dans ce rapport d'activité car ils fournissent de nouveaux moyens permettant le financement d'un nombre sensiblement plus important de jeunes chercheurs (12 thèses, 9 post-doctorats) et produisent aujourd'hui des premiers résultats comme : la préparation d'une nouvelle stimulation chimique à Soultz-sous-Forêts dans le puits GPK4, l'étude directe des effets de déformation et de température sur la propagation des ondes, une analyse sociologique originale de la controverse autour de la géothermie profonde dans l'Eurométropole de Strasbourg, ou la mise en œuvre opérationnelle de la convention de mutualisation des données académiques et industrielles pour une surveillance collaborative des projets de géothermie profonde en Alsace. Cette augmentation sensible de l'activité est à présent gérée par Quentin Satgé, le nouveau manager projets du Labex, recruté en juillet 2017. Il est devenu la cheville ouvrière du bon fonctionnement du Labex.

Les réussites de 2017 sont donc l'aboutissement d'un immense travail collectif réalisé au sein des neufs groupes de travail du Labex. Bravo à tous !

Le Laboratoire d'Excellence G-eau-thermie Profonde

Rapprochant compétences académiques et industrielles, le laboratoire d'excellence (LabEx) G-eau-thermie Profonde a pour vocation la recherche sur la géothermie à grande profondeur et son exploitation pour la production de chaleur et d'électricité.

Un partenariat universitaire et industriel

Lancé en 2012, le LabEx G-eau-thermie Profonde est coordonné par l'Université de Strasbourg et soutenu par le CNRS. Ses partenaires académiques sont : l'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST), le laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube), le laboratoire interuniversitaire des sciences de l'éducation et de la communication (LISEC). Les partenaires industriels du projet sont ÉS, et sa filiale ÉS Géothermie, et le GEIE (groupement européen d'intérêt économique) Exploitation Minière de la Chaleur de Soultz-Sous-Forêts.

Université de Strasbourg et CNRS

Un projet R&D sur 8 ans
2012-2019

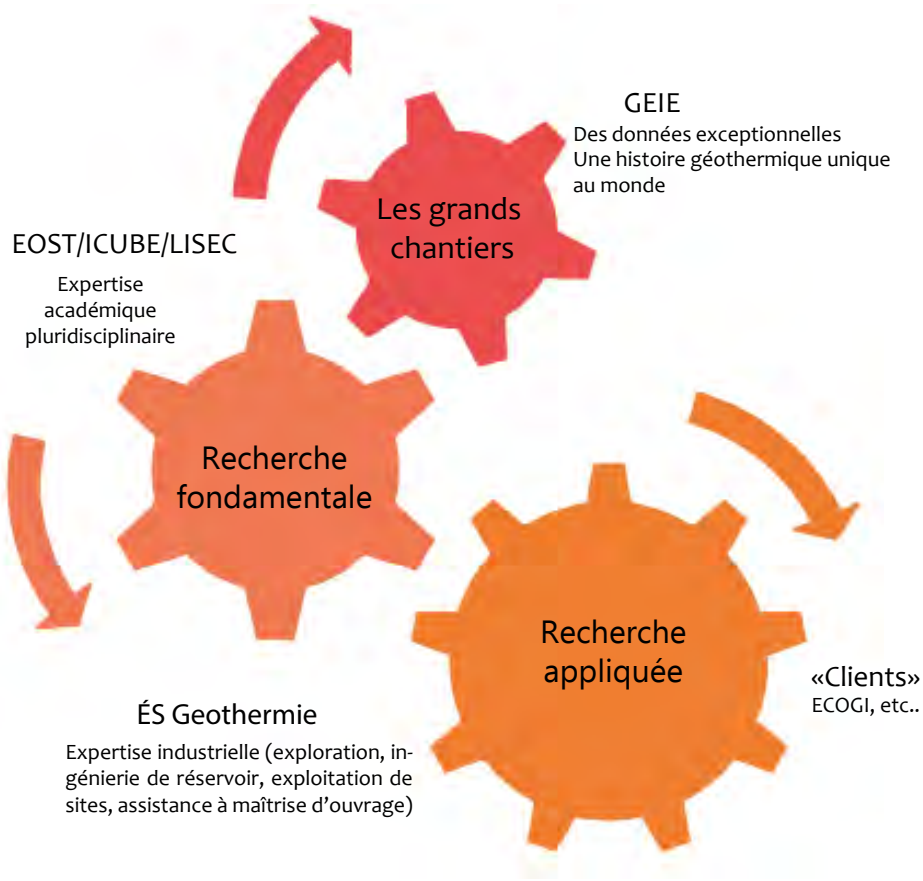
Électricité de Strasbourg

GEIE EMC
Centrale de Soultz-sous-Forêts
(actionnaires : ÉS et EnBW)

Centrale géothermique de Rittershoffen, exploitée par ÉS

Laboratoire d'excellence

Ce projet mixte industrie-université à long terme est intégré dans le projet **Initiative d'excellence (IdEx) de l'Université de Strasbourg**, du programme Investissements d'avenir. Il est doté d'un financement ministériel de 3 000 000 € sur 8 ans, dédié à la recherche, la formation, l'observation et la valorisation académique et industrielle.
Electricité de Strasbourg co-finance à hauteur de 1 700 000 € les actions de développement dans le cadre d'un **consortium CoGeos (EOST/ÉS Géothermie).**
ÉS finance également 350 000 €, consacrés à l'appui en management, l'accueil de chercheurs, la communication et la vulgarisation sur la recherche fondamentale en géothermie profonde dans le cadre d'un **mécénat** hébergé par la **Fondation Université de Strasbourg.**



Missions

• Scientifique
Faire avancer les connaissances sur l'exploration des réservoirs profonds de chaleur, la circulation hydro-thermale naturelle des fluides géothermaux dans les réservoirs fracturés, la stimulation, le développement et l'exploitation des réservoirs géothermaux profonds et la maîtrise des risques environnementaux et sismiques possiblement associés.

• Formation
Transmettre les connaissances acquises par le biais d'enseignements spécialisés (master, école d'ingénieurs) et de formation continue (Diplômes Universitaires).

• Conservation et diffusion des données
La mise en place d'un centre de données pour sauvegarder, pérenniser, et diffuser les données collectées sur les sites géothermiques profonds de la région.

• Valorisation
Porter la recherche fondamentale au plus près de l'activité industrielle des partenaires.

CoGéos : le Consortium en Géothermie profonde de Strasbourg

Les partenaires académiques du LabEx (CNRS, Université de Strasbourg) et la société ÉS Géothermie représentant le partenaire industriel ÉS (Électricité de Strasbourg), ont signé un accord de partenariat intitulé CoGeos en juin 2012.
Ce COnsortium en GEOthermie profonde de Strasbourg permet la mise en place de conventions spécifiques signées entre les partenaires, pour la réalisation de projets de collaboration, de prestation ou de formation, avec des tiers.
Le protocole d'accord qui s'étale sur une durée de 8 ans a pour objet de fédérer des initiatives de développement de la filière géothermique notamment sur la connaissance du réservoir, la maitrise des circulations naturelles, la sismicité induite et la maitrise des risques environnementaux.

La Chaire industrielle de géothermie profonde

Portée par l'Université de Strasbourg, en association avec le CNRS et ÉS, la Chaire Industrielle de géothermie profonde, inaugurée en 2014, a pour ambition la valorisation et le développement de la filière française en géothermie profonde par le soutien à la recherche et à la formation.
Elle fédère les acteurs académiques investis dans les différents programmes de recherche en cours, qu'ils soient européens (H2020 Destress, H2020 Epos), ou nationaux (ANR Cantare, EGS Alsace).
Elle est également le support de financements CoGeos étendus pour la réalisation de prestations en partenariat avec l'EOST et ÉS Géothermie (suivi sismologique).

Centrale géothermique de Soultz-sous-Forêts, exploitée par ÉS

H2020 Destress

Développer la stimulation des réservoirs pour améliorer leur productivité en minimisant les risques environnementaux

Réalisé dans le cadre du programme Horizon 2020 de la Commission Européenne, le projet Destress («Demonstration of soft simulation treatments of geothermal reservoirs») est porté par le GFZ-Potsdam. Il a pour principal objectif le **développement de la technologie EGS par stimulation** (chimique, hydrocyclique) pour améliorer significativement **la productivité** des ouvrages géothermiques ayant un réservoir profond tout en réduisant les risques pour l'environnement. Au total, **16 partenaires** répartis en 4 organismes de recherche, 4 universités (Delft, Glasgow, Séoul, Strasbourg) et 8 industriels (dont ÉS Géothermie) sont engagés dans le projet.
Il s'agit de mettre en œuvre, analyser et modéliser les résultats des techniques de **stimulations innovantes** tout en minimisant les impacts environnementaux de 8 sites de forages géothermiques situés en Europe (Allemagne, France, Hollande, Lithuanie, Suisse) et en Corée du Sud.

L'EOST et le LISEC (Laboratoire interuniversitaire des sciences de l'éducation et de la communication) y représentent l'Université de Strasbourg. L'EOST réalise principalement des études pluridisciplinaires (sismologie, géodésie, mécanique des roches, interactions eau-roche) pendant le développement et l'exploitation post-stimulation du réservoir. Ces études sont menées en laboratoire, sur le terrain (Soultz-sous-Forêts, Rittershoffen) et via des modèles numériques. Le LISEC mène des études sur l'acceptabilité sociale. **ÉS Géothermie** travaille sur les résultats des stimulations à Rittershoffen et le management du risque.

EGS Alsace

Industrialisation de la géothermie en Alsace

Démarré en 2015 pour une durée de 4 ans, le projet EGS Alsace, co-financé par l'**ADEME**, associe l'EOST et ÉS, notamment sa filiale ÉS Géothermie. ÉS est porteur du projet.
L'objectif est de favoriser l'industrialisation de la géothermie de type EGS (Enhanced Geothermal System, ou Système géothermal activé) et de contribuer au développement de méthodes innovantes en s'appuyant notamment sur les acquis des sites géothermiques de Soultz-sous-Forêts et de Rittershoffen.

Partenariats industriels

Engie/Storengy et ÉS Total
Etude des réservoirs souterrains

Deux nouveaux partenariats industriels sont nés en 2017 pour l'étude et le suivi des réservoirs souterains. Storengy/Engie et ÉS Géothermie financent deux thèses commencées en 2017, et Total finance un post-doctorat sur l'étude de la génération d'hydrogène naturel dans les réservoirs géothermiques.

ANR Cantare

Étude ciblée du contexte alsacien pour le développement de la géothermie haute température

Le projet Cantare est lauréat de l'appel à projet 2015 de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) sur le thème « Transformations et usages efficaces de l'énergie ». Piloté par le BRGM (Bureau de Recherche Géologiques et Minières), il implique les deux laboratoires de l'EOST (LHyGeS et IPGS) et la société ÉS Géothermie.
L'objectif est **la caractérisation de la zone de transition entre le socle et la couverture des bassins sédimentaires profonds pour l'exploitation géothermique en Alsace**. Le projet vise également à apporter de **nouveaux modèles conceptuels** qui serviront de base à l'exploration et au développement de **futurs projets industriels**. Il contribuera au développement de la géothermie haute température (>150°C), hors des zones volcaniques habituellement dédiées à la production d'électricité.

Le manager projet

Ces projets de recherche européens et nationaux ont pris de l'ampleur depuis 2015. Pour une meilleure structuration et efficacité, un manager projet, Quentin Satgé, a été recruté en 2017 pour assurer le suivi et la coordination des projets. Découvrez son portrait et témoignage dans la rubrique «Entretiens», page 50.

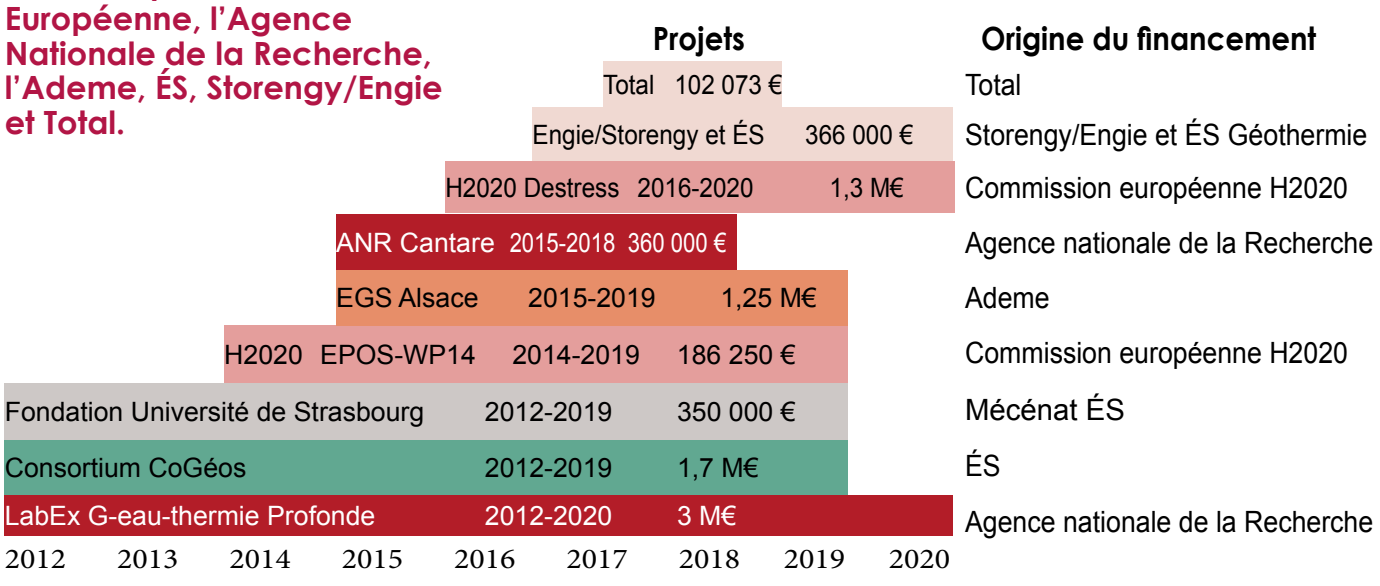
H2020 EPOS-IP AH

Vers une infrastructure européenne de recherche en sciences de la terre

Le projet européen EPOS (« European Plate Observing System ») a pour objectif la construction d'une infrastructure de recherche intégrée pour les sciences de la terre solide en Europe en développant une recherche multidisciplinaire et ouverte pour répondre aux défis en sciences de la terre, entre autres ceux liés aux géo-ressources et aux géo-risques. Il vise également à augmenter l'accès et l'utilisation de données multidisciplinaires (issues de réseaux de surveillance, laboratoires expérimentaux...).

25 pays européens et plus de 250 infrastructures de recherche sont impliqués. L'un des axes du projet est la thématique 'Anthropogenic hasards' (AH) (risques anthropiques) et concerne les infrastructures pour l'exploitation anthropique des ressources géologiques. En tant qu'exploitation de sources de chaleur naturelle, la géothermie profonde est directement concernée par cette thématique. Le LabEx G-eau-thermie Profonde participe activement à cet axe d'étude. L'infrastructure européenne devrait voir le jour en 2020.

Des projets de recherche soutenus par l'Union Européenne, l'Agence Nationale de la Recherche, l'Ademe, ÉS, Storengy/Engie et Total.



ORGANISATION

La gouvernance du LabEx est assurée par les différents Comités mis en place : Comité des tutelles, Comité de Pilotage, Comité Chaire et Comité Scientifique.
Les équipes de recherche sont organisées en 9 groupes de travail thématiques (10 à partir de 2018).
Le LabEx fédère 92 personnes : chercheurs, étudiants en thèse, post-doctorants, ingénieurs et techniciens.

L'équipe de direction

Jean-François Girard
Directeur adjoint (EOST)

Jean Schmittbuhl
Directeur (EOST)

Quentin Satgé
Manager projet (EOST)

Clément Baujard
Chef de département Géosciences (ÉS Géothermie)

Emmanuelle Calmès, assistante de direction, a quitté ses fonctions en août 2017

Gouvernance

En 2017

3 réunions du Comité de pilotage

4 réunions du Comité Chaire

1 réunion du Comité scientifique

1 réunion du Comité des Tutelles

Le **Comité des tutelles** assure une représentation de l'Université de Strasbourg, du CNRS et d'ÉS. Il se réunit une fois par an et valide les choix stratégiques.

Membres*
Bernard Kempf, ÉS
Michel de Mathelin, Université de Strasbourg
Eric Humler (représenté par Olivier Vidal en 2017) INSU-CNRS

Le **Comité de pilotage** comprend 10 membres. Il suit les actions en cours et se réunit 3 à 4 fois par an.

Membres*
Jean Schmittbuhl
Jean-François Girard
Frédéric Masson
Jacques Hinderer
Christophe Fond
Albert Genter
Jean-Jacques Graff
Nicolas Cuenot
Alexis Trebaol
Bertrand Fritz
Philippe Ackerer
Laurence Jouniaux

Le **Comité Chaire** réunit l'équipe de direction et les responsables des groupes de travail. Il pilote les activités de la Chaire et se réunit mensuellement depuis l'été 2017.

Membres
Jean Schmittbuhl
Jean-François Girard
Quentin Satgé
Jérôme Vergne
Cécile Doubre
Patrick Baud
Gerhard Schäfer
Hubert Whitechurch
Philippe Chavot
Marc Schaming

Le **Comité scientifique** compte 13 membres, dont 10 externes à l'EOST. Il se réunit une fois par an, donne son avis sur les projets scientifiques soumis chaque année à l'appel à projet et sur les activités de recherche des groupes de travail (Working group).

Membres*
Florent Brenguier, Phys.Adj, ISTerre, Université de Grenoble
Francois Cornet, Phys. Emérite, EOST/IPGS, Université de Strasbourg
Tomàs Fischer, Prof., Charles University, Prague
Alex Hansen, Prof., NTNU, Trondheim, Norvège
Gylfi Páll Hersir, ISOR, Islande
Philippe Jousset, Prof., GFZ, Potsdam, Allemagne
Thomas Kohl, Prof., KIT, Karlsruhe, Allemagne
Peter Rose, Prof., Utah University, États-Unis
Judith Sausse, Prof., Ecole des Mines, Nancy
Bernard Sanjuan, BRGM, Orléans
Benoit Valley, Ass. Prof., Université de Neuchâtel, Suisse
Invités : Philippe Ackerer, DR CNRS, EOST/LHyGES, Université de Strasbourg
Et Jean Schittbuhl, DR CNRS, EOST/IPGS, Université de Strasbourg

** Ces compositions sont celles de 2017, elles ont évolué en 2018.*

Les groupes de travail (working groups)

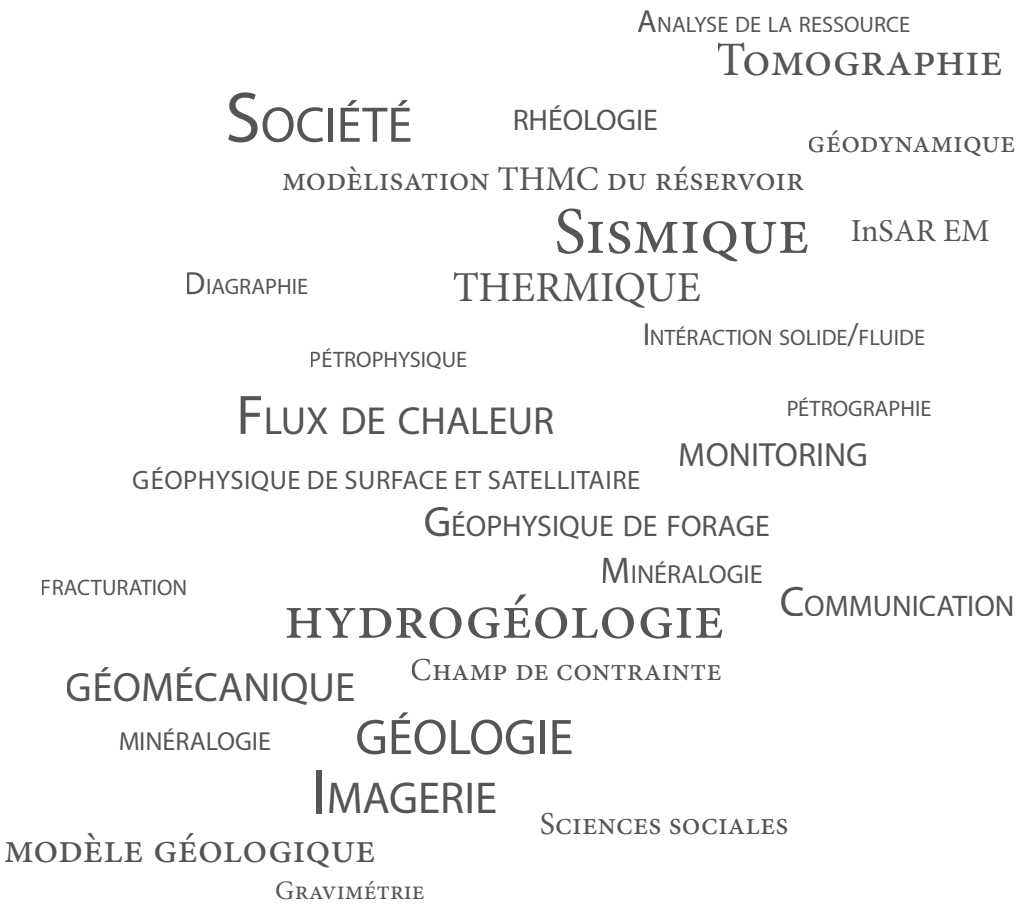
9
Groupes de travail

Les Working Groups ont vu le jour en 2015, suite au fort développement du LabEx et aux recommandations du jury international de l'ANR. Offrant une meilleure coordination des activités de recherche et de leurs financements, ils permettent une amplification du projet.

Leurs **missions** sont d'animer les thématiques de recherche, assurer la coordination budgétaire, favoriser les échanges d'information académie-industrie et suivre les actions de prestations.

Les working groups sont ainsi **impliqués dans les différents projets européens et nationaux** associés au LabEx (voir ci-dessous).
Ils mêlent chercheurs et doctorants de l'Université de Strasbourg et du CNRS, ingénieurs et responsables d'ES Géothermie, et des chercheurs d'établissements partenaires.
Le modèle collaboratif et transversal des working groups a permis de mettre en évidence une mutualisation des compétences.

Un dizième groupe de travail est né en 2018 sur le thème de la modélisation.



Implication des groupes de travail dans les différents projets

Groupe de travail	Appel à projets annuels (IA)	CoGéos (ÉS)	CoGéos (prestations)	EGS Alsace	ANR Cantare	H2020 Epos WG14	H2020 Destress
1. Sismologie	■	■	■	■		■	
2. Géodésie	■	■	■	■			■
3. MT-Gravi	■	■		■	■		
4. Physique des Roches	■	■			■		■
5. Hydro-géochimie	■	■					■
6. Géologie	■	■	■	■	■	■	
7. Sciences sociales	■	■		■			■
8. CDGP	■	■	■	■		■	
10. Formation	■	■					

1. SISMOLOGIE
20 membres
Coordinateur : Jérôme Vergne

Caractérisation et suivi des réservoirs géothermiques (méthodes sismologiques passives, modélisations numériques et analogiques)
Analyse de la micro-sismicité induite, corrélation du bruit sismique ambiant (imagerie et suivi)
Mise en place et suivi de réseaux de stations sismiques.

2. GÉODÉSIE
6 membres
Coordinatrice : Cécile Doubre

Etude de la déformation de surface pour le suivi des réservoirs géothermiques
Techniques : Systèmes de navigation par satellites (GNSS – GPS), interférométrie radar (InSAR),nivellement
Aproches méthodologiques et de modélisation

3. MAGNÉTOTELLURIE-GRAVIMÉTRIE
11 membres
Coordinateur : Jean-François Girard

Suivi de l'évolution du sous-sol lors de l'exploitation géothermique (Soultz, Rittershoffen) et exploration des ressources profondes grâce aux méthodes de gravimétrie et de magnéto-tellurie (MT)

4. PHYSIQUE DES ROCHES
12 membres
Coordinateur : Patrick Baud

Mécanique des roches par des essais, des modèles micromécaniques, l'analyse de microstructures (microscope électronique, tomographie X) et de la fissuration thermique.
Physique des roches (porosité, perméabilité, conductivité électrique et thermique...)

5. HYDRO-GÉOCHIMIE
12 membres
Coordinateur : Gerhard Schäfer

Etude des transferts de matière liés aux interactions fluides-roches dans les réservoirs géothermiques.
Traçages isotopiques, modélisations numériques, microbiologie en contexte géothermique, cinétique d'altération des minéraux.

6. GÉOLOGIE
12 membres
Coordinateur : Hubert Whitechurch

Études structurales, minéralogiques, stratigraphiques et géologiques à l'interface socle-sédiments du fossé rhénan, notamment à Soultz-sous-Forêts, Rittershoffen et Illkirch.

7. SCIENCES SOCIALES
6 membres
Coordinateur : Philippe Chavot

Analyse des perceptions publiques de la géothermie profonde, des controverses scientifiques et des dispositifs de médiation (enquêtes, débats publics…).
Enquêtes sociologiques et étude des médias.

8. CENTRE DE DONNÉES EN GÉOTHERMIE PROFONDE
12 membres
Coordinateur : Marc Schaming

Mise en place d'un observatoire pour sauvegarder, pérenniser et distribuer les données collectées sur les sites géothermiques de la région, en tenant compte des droits de propriété intellectuelle.

9. THMC (MODÉLISATION)
Créé en 2018
Coordinateur : Jean Schmittbuhl

Modélisation thermo-hydro-mécanique et chimique (THMC) du réservoir.
Intégration des données géophysiques. Modélisation des risques induits.

10. FORMATION
Coordinateur : Frédéric Masson

Ressources humaines

92 personnes impliquées en 2017
(groupes de travail et équipe de direction)

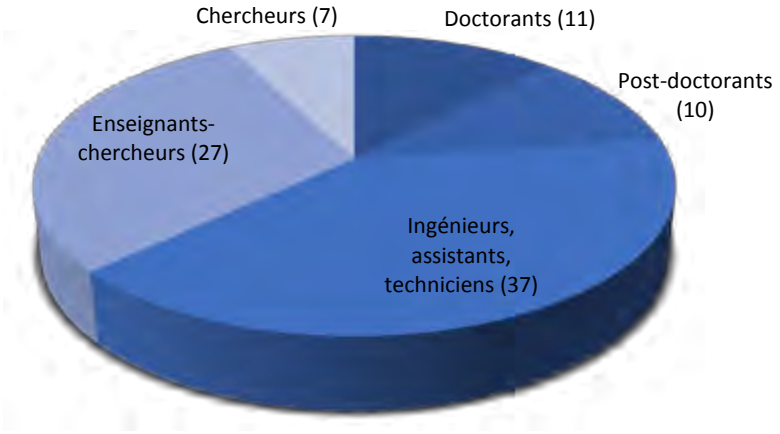
soit **36,5 équivalent temps plein**

Leur fonction

37 sont ingénieurs,
assistants ou techniciens

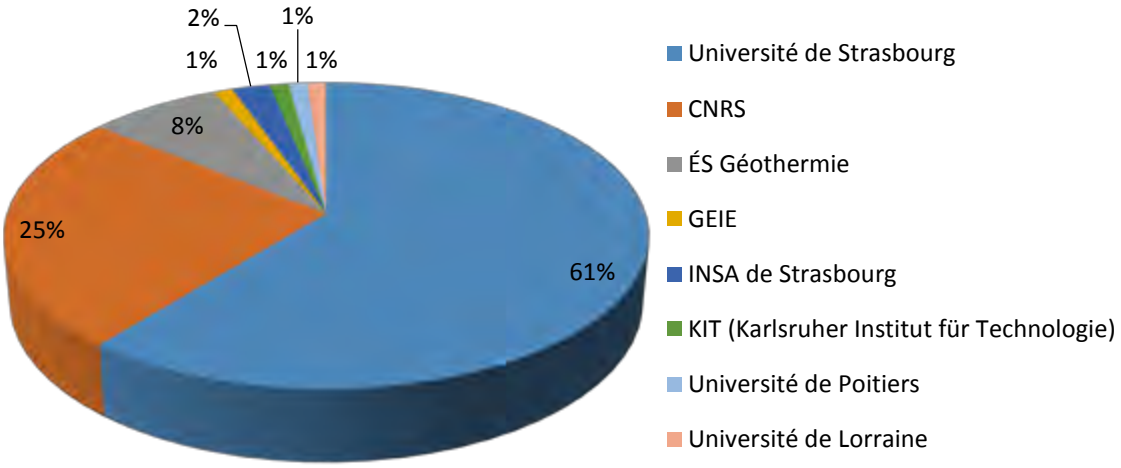
34 sont chercheurs
ou enseignants-chercheurs

21 sont doctorants
ou post-doctorants



Leur origine

61% travaillent à l'Université de Strasbourg
25% au CNRS
9% à ÉS Géothermie et GEIE
5% dans des établissements d'enseignement et de recherche partenaires



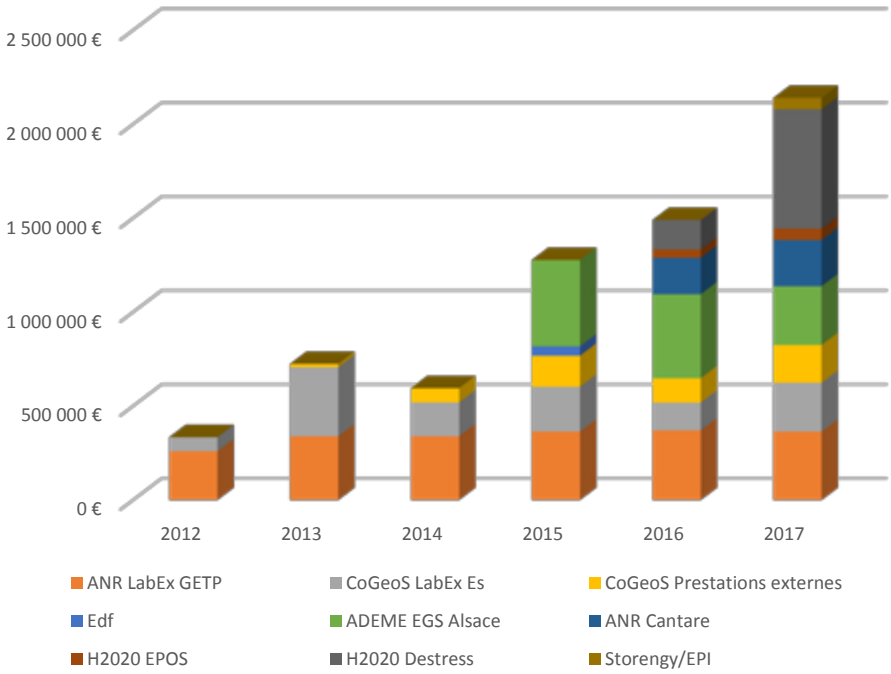
BILAN FINANCIER

En 2017, les ressources engendrées par le LabEx G-eau-thermie Profonde s'élèvent à 2 140 671 €, issues des financements historiques (ANR LabEx, Cogéos) et des programmes de recherche en cours (H2020, ANR...).

Dotations et recettes en 2017 : 2 140 671 €

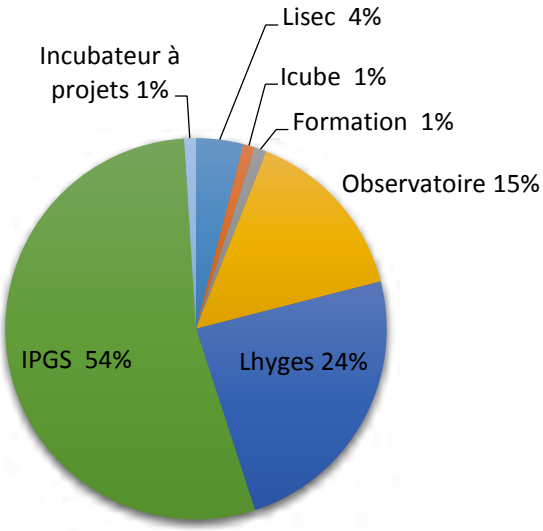
ANR LabEx	364 525 €
CoGeoS LabEx ES	260 218 €
CoGeoS Prestations externes	200 980 €
ADEME EGS Alsace	312 805 €
ANR Cantare	245 398 €
H2020 EPOS	60 962 €
H2020 Destress	634 783 €
Storengy/EPI	61 000 €
TOTAL	**2 140 671 €**

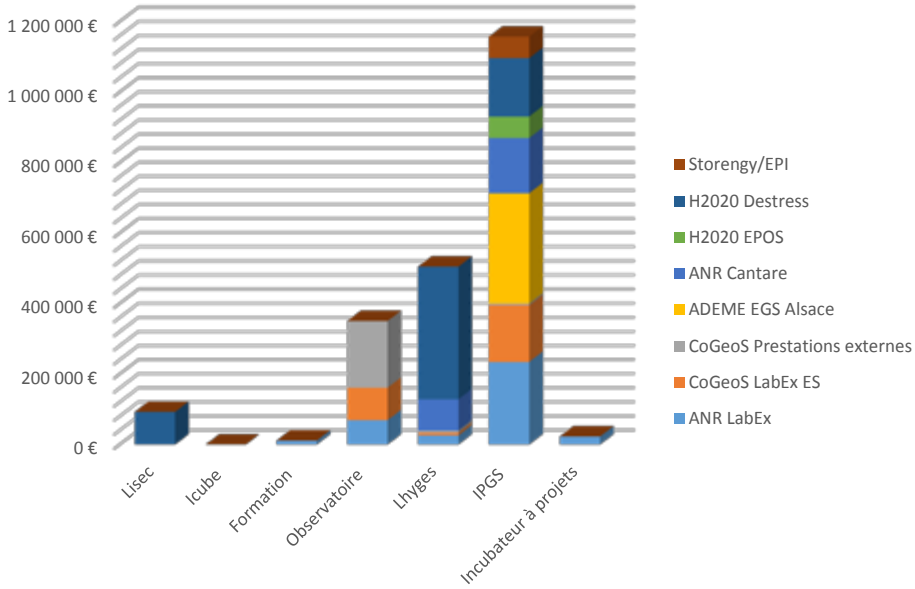
Dotations et recettes depuis 2012 : 6,5 millions d'euros



Répartition des ressources

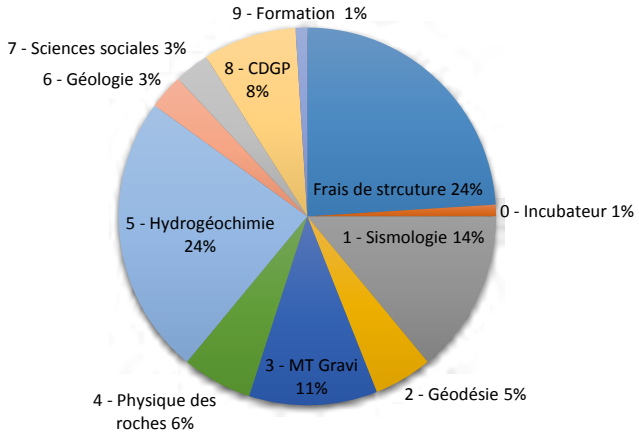
Par structure

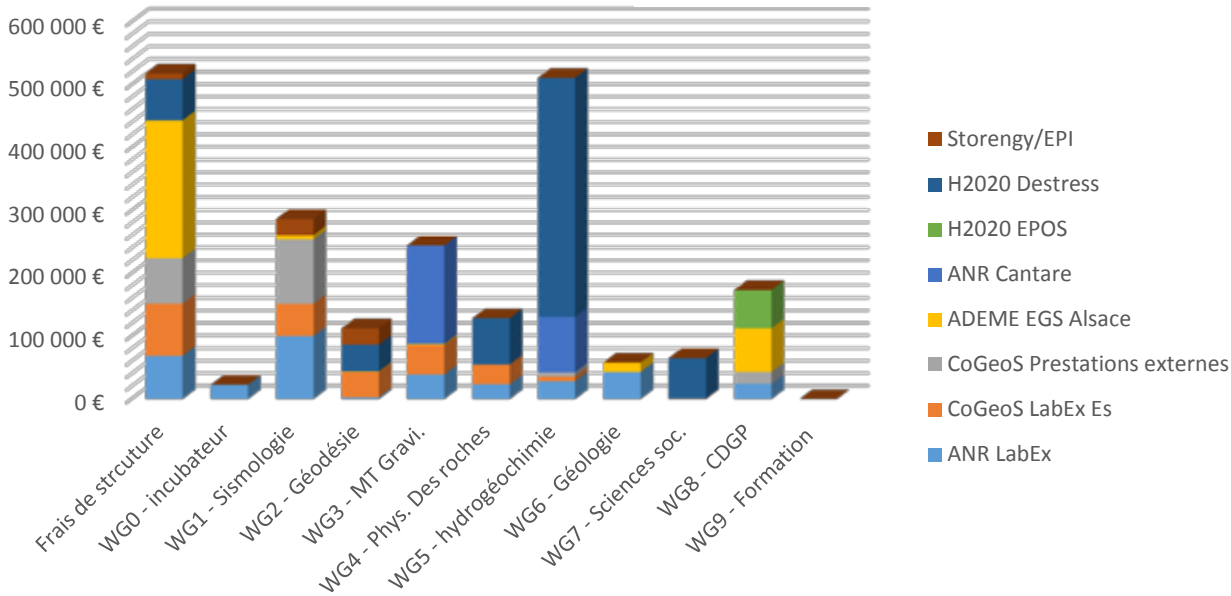




L'essentiel des ressources (78%) sont allouées aux laboratoires de recherche de l'EOST (IPGS et Lhyges)

Par groupe de travail



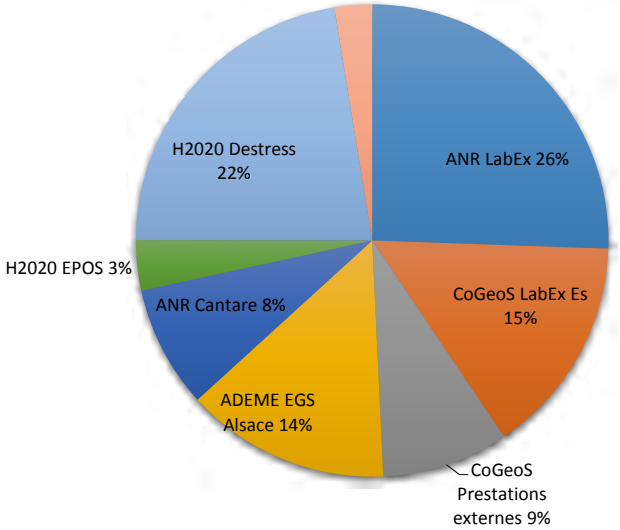


Affectation des dépenses

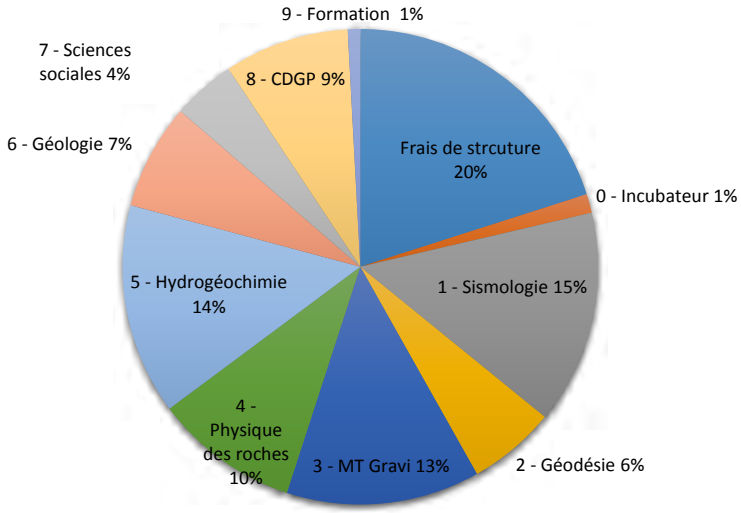
Dépenses réalisées en 2017 :
1 354 689 €

ANR LabEx	346 113
CoGeoS LabEx ES	203 685
CoGeoS Prestations externes	117 442
ADEME EGS Alsace	189 408
ANR Cantare	113 147
H2020 EPOS	46 630
H2020 Destress	303 502
Storengy/EPI	34 762
TOTAL	**1 354 689**

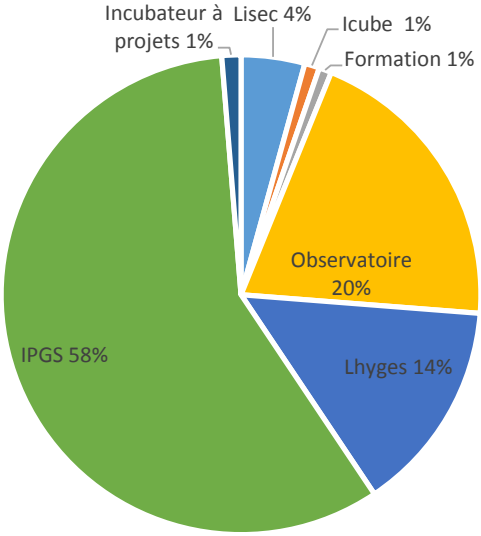
Affectation des dépenses 2017
Par projet



Par groupe de travail

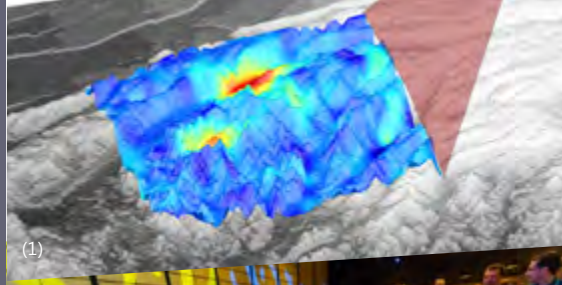


Par structure



FAITS ET ÉVÉNEMENTS MARQUANTS

Recrutement de doctorants sur de nouveaux projets de recherche, avancées scientifiques, échanges et débats lors de l'EGW ont ponctué l'année 2017.
Notons deux avancées scientifiques majeures : la mise en ligne de données sur la plateforme du CDGP et la mise au point du modèle pour l'imagerie du sol dans l'Outre-Forêt...
Le LabEx a également rejoint l'EERA (Association de recehrche européenne sur l'énergie) et construit de nouveaux partenariats industriels.


(1)

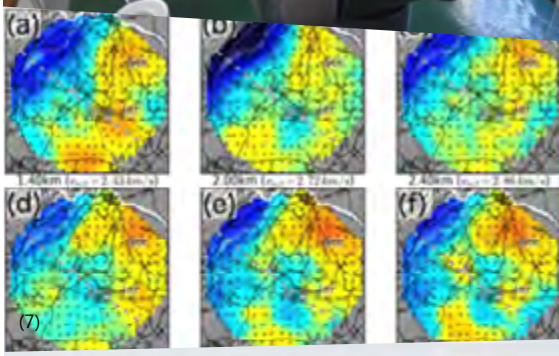
(2)

(3)

(4)

(5)

(6)



(7)

(8)

Janvier

- Réunion du Comité Scientifique
- Début d'un nouveau partenariat industriel avec Storengy/Engie qui cofinance la thèse d'Eric Henrion sur le suivi géodésique des réservoirs profonds (1) *(lire page 48)*
- Organisation d'un colloque sciences sociales et géothermie à Soultz-sous-Forêts dans le cadre du projet DESTRESS

Février

- Démarrage des projets LabEx 2017/2018
- 2017 est l'année de la mise en oeuvre opérationnelle de la convention de mutualisation des données académiques et industrielles, signée en 2016 à la DREAL Alsace, pour une surveillance collaborative des projets de géothermie profonde

Mars

- Publication du rapport d'activité 2016
- Présentation et échanges avec des lycéens du Lycée Leclerc de Saverne sur les questions de géothermie profonde en Alsace
- Accueil des chercheurs Frantisek Stanek et Josef Vicek de l'Université Charles de Prague dans le cadre d'une action européenne COST
- Présentation du projet de Chaire industrielle de géothermie profonde à l'EOST devant l'HCERES (Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur) pour le prochain projet quinquennal de l'EOST

Avril
- Participation à l'EGU 2017 à Vienne (European Geosciences Union) (2)
- Meeting annuel du projet H2020 DESTRESS à Klapeida en Lituanie

Mai
- Réunion du Comité des Tutelles
- Démarrage du post-doctorat de Clio Bosia (analyse minéralogique et isotopique d'échantillons de roches)
- Meeting du projet H2020 EPOS AH, à Potsdam sur l'avancement de la plateforme d'analyse des données de sismicité induite en Europe

Juillet
- Prise de fonction de Quentin Satgé comme manager projet
- Deuxième promotion du DU gestion de projets en géothermie profonde diplômée

Juillet et septembre
- Missions en Islande sur les sites volcano-géothermiques de Theistareykir et Krafla : Premières mesures de gravité absolue pour le suivi temporel par gravimétrie hybride et premières mesures magnétotelluriques pour le suivi de réservoirs géothermiques (3) *(lire page 20-21)*

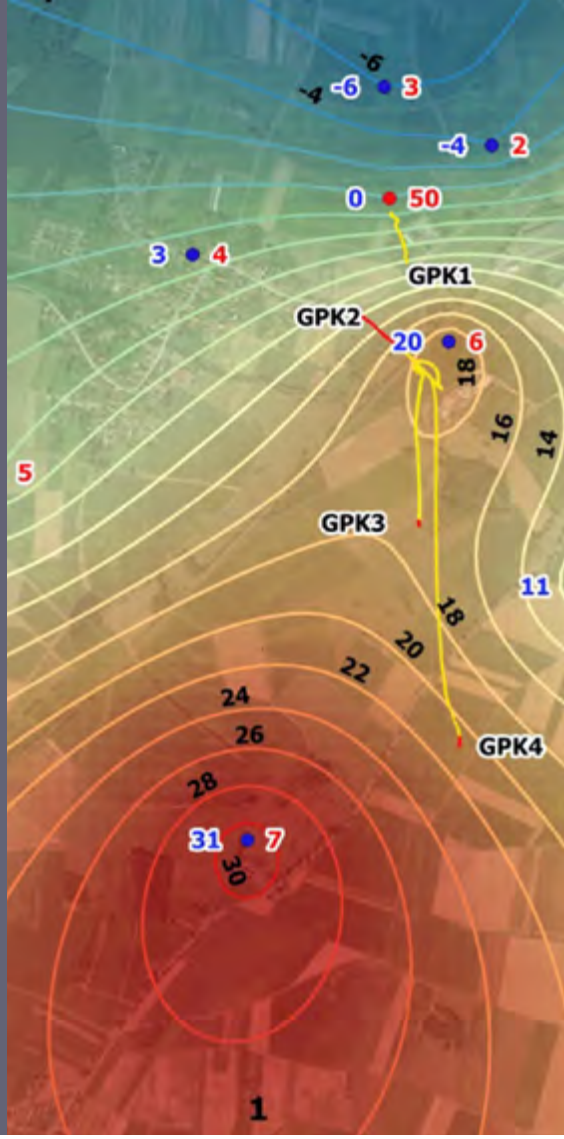
Septembre
- Le LabEx est prolongé jusqu'en 2020 par l'Université de Strasbourg
- Jeanne Vidal soutient sa thèse en géologie des réservoirs *(lire page 27)*
- Mise en place d'un nouveau partenariat industriel avec Total pour l'étude de faisabilité de la récupération de l'hydrogène en contexte géothermal (post-doctorat de Jessica Murray)
- Démarrage de la thèse de Rike Köpke, en co-tutelle avec le KIT, sur la localisation de la microsismicité induite à Rittersfhoffen
- Coordination de l'action «geothermie profonde» au cours du Symposium franco-allemand Earth system dynamics à l'Ambassade de France à Berlin *(lire page 40)*

Octobre
- Cinquième édition de l'EGW (European Geothermal Workshop) à Karlsruhe (4) *(lire page 39)*
- Participation à l'Assemblée Générale de l'EERA, association européenne de recherche sur l'énergie et au colloque final du projet européen IMAGE en Islande (5) *(lire page 40)*
- Démarrage de la deuxième thèse en partenariat avec Storengy/Engie, celle de Damian Kula, venu de Pologne, sur le suivi de réservoirs géothermiques à partir du bruit sismique
- Début de la thèse d'Alexandra Renouard sur la sismicité du nord-est de la France

Novembre
- Hydrogéochimie : mise en place d'un dispositif expérimental à haute pression (jusqu'à 70 MPa) et à haute température (jusqu'à 250 °C) pour quantifier l'évolution de la perméabilité des réservoirs géothermiques en fonction de fluides réactifs (6)
- Lancement de l'étude de faisabilité d'une nouvelle stimulation chimique à Soultz-sous-Forêts dans le cadre du projet DESTRESS

Décembre
- Première thèse CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la REcherche) en partenariat avec ÉS Géothermie : Carole Glaas, «Perméabilité des réservoirs géothermiques profonds fracturés, altérations hydrothermales et logs électriques »
- Sismologie : Réalisation d'un modèle de vitesse en ondes S à haute résolution des 3 premiers kilomètres de la croûte dans la région de l'Outre Forêt à partir de de corrélations du bruit sismique ambiant enregistré par les 288 capteurs de l'expérience Est-OF (sept. 2014) (7) *(lire page 19)*
- Mise en ligne des données relatives à l'épisode de stimulation de 1993 à Soultz-sous-Forêts sur le site internet du CDGP (cdgp.u-strasbg.fr) (8) *(lire page 37)*

RECHERCHE PROJETS LABEX



Chaque année, le LabEx finance des projets approuvés par le Comité scientifique et le Comité de pilotage, proposés et réalisés par les groupes de travail.
Les travaux concernent le suivi des sites géothermiques (sismique, déformation de surface, gravimétrie, électromagnétisme…), l'étude des réservoirs géothermiques (géochimie, dynamique des fluides, modélisation, interactions fluide-roche…), l'étude de la dimension sociale des projets sur le territoire et la gestion des données.

Etude analogique du glissement sur les failles

Coordonné par Olivier Lengliné

L'objectif de cette étude est de **mieux anticiper le comportement mécanique des fractures dans un réservoir géothermique lorsque celles-ci sont soumises à une sollicitation extérieure**. Ces travaux apportent une connaissance sur les mécanismes qui contrôlent la nucléation (déclenchement) des séismes induits par le développement d'un réservoir géothermique.

Notre travail s'est principalement concentré sur deux aspects. Nous développons une expérience de glissement avec un ensemble d'aspérités discrètes intégrées dans une interface à faible rigidité. Notre but est d'étudier comment le comportement de glissement à grande échelle de l'interface est influencé par les dynamiques locales de chaque aspérité et leurs interactions pendant les transferts de contraintes élastiques.

Nous avons également étudié la fracture de matériaux hétérogènes. La propagation de fissures dans des matériaux hétérogènes est un mécanisme fondamental pour comprendre les processus de rupture dans la Terre. Cependant, il est difficile de caractériser précisément le comportement de rupture locale de tels événements et nous devons surtout compter sur une vision à grande échelle.

Nous avons obtenu expérimentalement les propriétés des fractures interfaciales en mode III se propageant lentement sur une interface hétérogène. Nous avons caractérisé l'exposant de rugosité et la dynamique locale de telles fractures.

Toutes les propriétés analysées semblent robustes et sont similaires à celles précédemment observées dans les fractures de mode I, ce qui donne une **forte validation de nos résultats.** Cette étude met donc en évidence la dynamique complexe de la rupture anti-plane à petite échelle.

Thèse de Camille Jestin

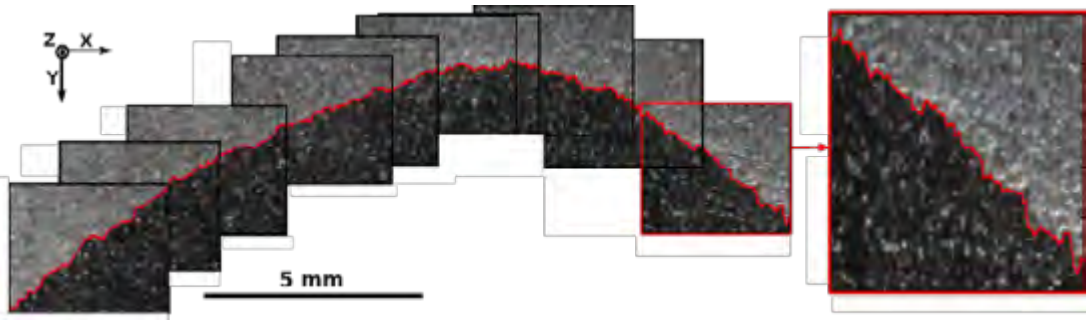


Image de fractures interfaciales en mode III. La partie grise représente la zone fracturée tandis que dans la zone sombre, l'échantillon est toujours intact. La ligne rouge marque l'avant de la fracture. La géométrie variable révèle une répartition complexe des contraintes exercées sur la fissure.

Imagerie des réservoirs géothermiques par corrélation du bruit sismique ambiant : Tomographie haute résolution de l'Outre-Forêt

Coordonné par Jérôme Vergne

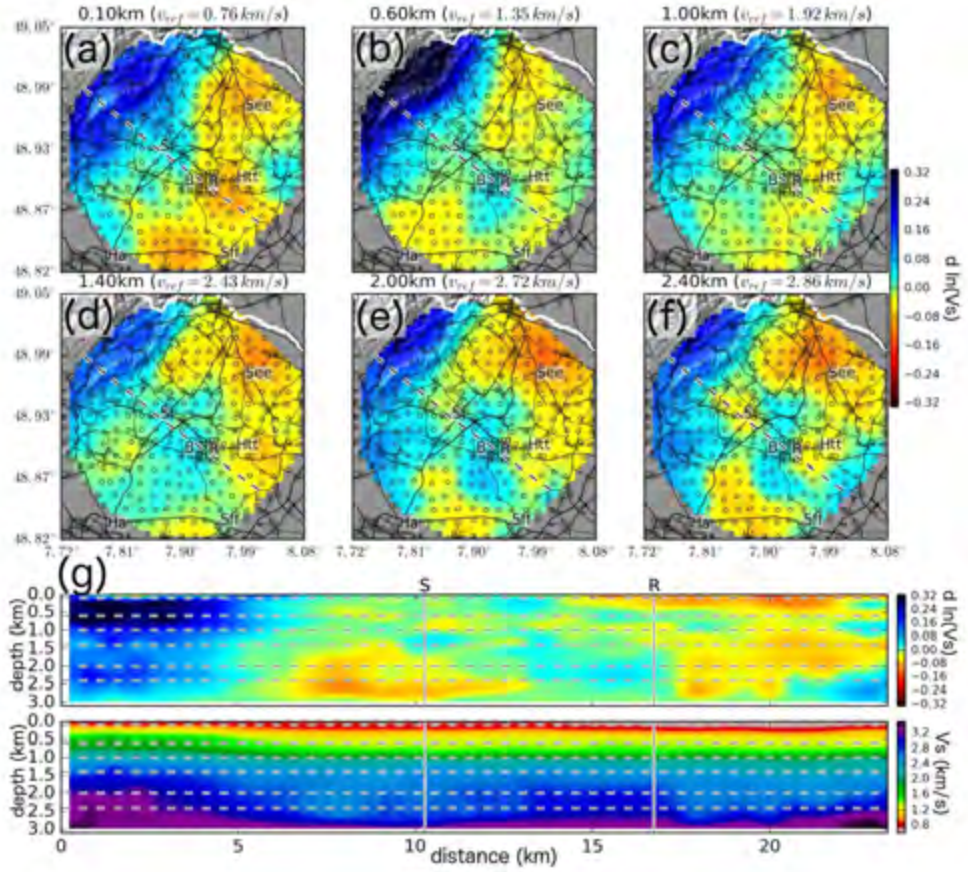
Grâce au soutien du Labex, l'EOST, en partenariat avec ÉS Géothermie, avait déployé en septembre 2014 un **réseau dense de 288 stations sismologiques miniaturisées** sur une grille régulière couvrant une zone de 400 km^2 de la région de l'Outre-Forêt où se situent les sites géothermiques de Soulz-sous-Forêts et Rittershoffen.

Sur la base des approches développées dans le cadre de la thèse de Maximilien Lehujeur, le bruit sismique ambiant enregistré par ce réseau a été utilisé pour obtenir une estimation de la fonction de Green entre chacun des 44 000 couples de capteurs. Pour limiter les biais induits par l'anisotropie des sources de bruit (Lehujeur et al., 2015), une méthode innovante basée sur l'analyse statistique des diagrammes de dispersion a été mise en œuvre. Les courbes de dispersion de vitesse de groupe du mode fondamental et du premier harmonique ont ensuite été inversées en chaque point de la grille **pour obtenir un modèle de vitesse en onde S des 3 premiers kilomètres de la croûte avec une résolution latérale de l'ordre du kilomètre**.

A proximité de la surface, ce modèle apparait **très cohérent** avec les données géologiques. La faille principale rhénane bordant le massif des Vosges et la plaine alluviale est très bien marquée. La présence de zones à faible vitesse au Nord (zone de Seebach) et au Sud (entre Haguenau et Soufflenheim) est cohérente avec la localisation de zones de dépôts lacustres pléistocène peu consolidés. A plus grande profondeur (1-3 km), les variations latérales observées peuvent difficilement s'expliquer par des variations lithologiques. Elles seraient plutôt liées à des **variations latérales de contenu en fluide des roches ou de température.** La longueur d'onde de ces anomalies est d'ailleurs similaire à celle des cellules de convection thermales modélisées et sont bien corrélées avec le champ de température et de densité.

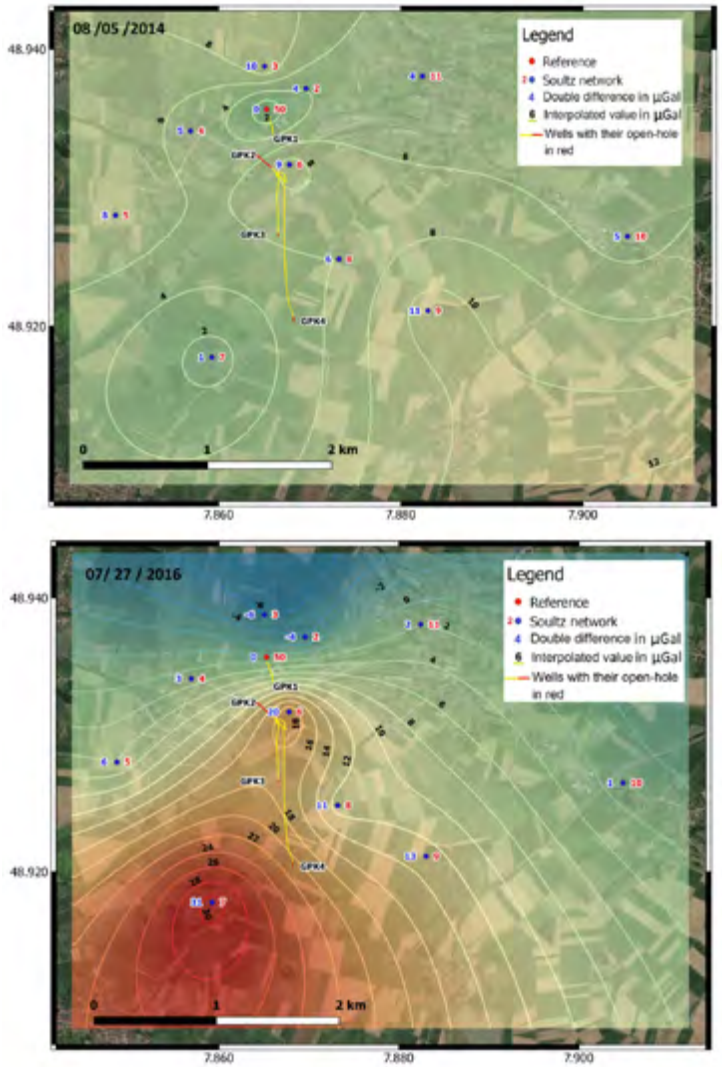
Cette étude **démontre à la fois tout l'intérêt de déployer des réseaux denses de capteurs** et le **potentiel des approches passives basées sur le bruit sismique ambiant pour la prospection des réservoirs géothermiques.**

Post-doc de Maximilien Lehujeur



Modèle de vitesse en onde S des 3 premiers kilomètres de la croûte obtenu par corrélation du bruit sismique enregistré par le réseau EstOF dans la région de l'Outre-Forêt. (a-f) carte des variations de Vs par rapport à la vitesse moyenne à différentes profondeurs. (g) Coupe verticale dans le modèle 3D (vitesses absolues ou relatives) le long du profil NW-SE indiqué sur les cartes a-f. Les lettres « S » et « R » indiquent les sites géothermiques de Soultz-sous-Fôrets et Rittershoffen respectivement.

Voir aussi l'image en couverture : la technique développée permet d'obtenir une imagerie 3D du sous-sol. Les zones jaunes indiquent des domaines plus chauds ou plus riches en fluide, c'est-à-dire les endroits potentiellement les plus intéressants des réservoirs géothermiques.



Doubles différences mesurées sur le site de Soultz-sous-Forêts en µGal le 05/08/2014 avant le début de production (en haut) et le 27/07/16 après le début de production (en bas). La même échelle de couleur est utilisée pour les deux cartes.

Suivi des réservoirs géothermiques par gravimétrie hybride

Coordonné par Jacques Hinderer

Le projet consiste en un suivi d'un réservoir géothermique par gravimétrie hybride combinant différents types de gravimètres afin d'obtenir des informations spatiales et temporelles sur les variations de pesanteur en surface, associées au **fonctionnement naturel et anthropique du réservoir**.

Cette méthodologie est appliquée depuis 2013 aux sites de géothermie profonde de Soultz-sous-Forêts et Rittershoffen en Alsace du Nord et, depuis 2017, aux sites volcano-géothermiques de Theistareykir et Krafla en Islande. Sur ces sites islandais, à l'activité géothermique plus importante que dans le contexte alsacien, l'équipe **espère mettre en évidence des effets significatifs, afin de valider et d'affiner la méthode pour le suivi des sites alsaciens.**

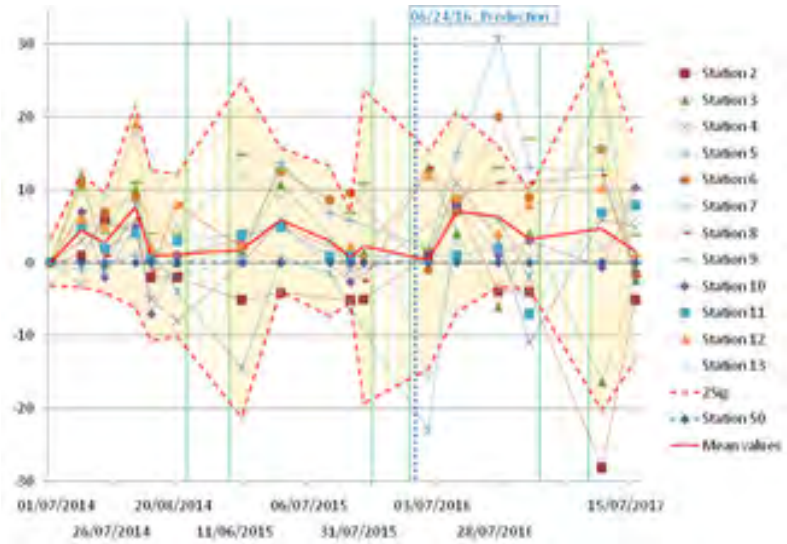
Avancées 2017

Alsace

- Répétition des mesures sur les deux réseaux micro-gravimétriques en Alsace en juillet et août et traitement complet des données
- Répétition d'une mesure de gravité absolue à GPK1 en août
- Répétition du nivellement de précision sur le réseau de Soultz-sous-Forêts
- Etude des rattachements entre les deux réseaux et l'Observatoire Gravimétrique de Strasbourg

Islande

- Premières mesures micro-gravimétriques sur les deux réseaux en juillet et septembre
- Premières mesures de gravité absolue en juillet



Mesures temporalles sur le réseau de Soultz-sous-Forêts de 2014 à 2017. La station 50 est la station de référence ; la première semaine de 2014 est la référence temporelle. L'exploitation géothermique a débuté le 24 juin 2016. L'intervalle de confiance à 95% est également représenté (zone coloriée en jaune).

Suivi magnéto-tellurique d'un réservoir géothermique

Coordonné par Pascal Sailhac

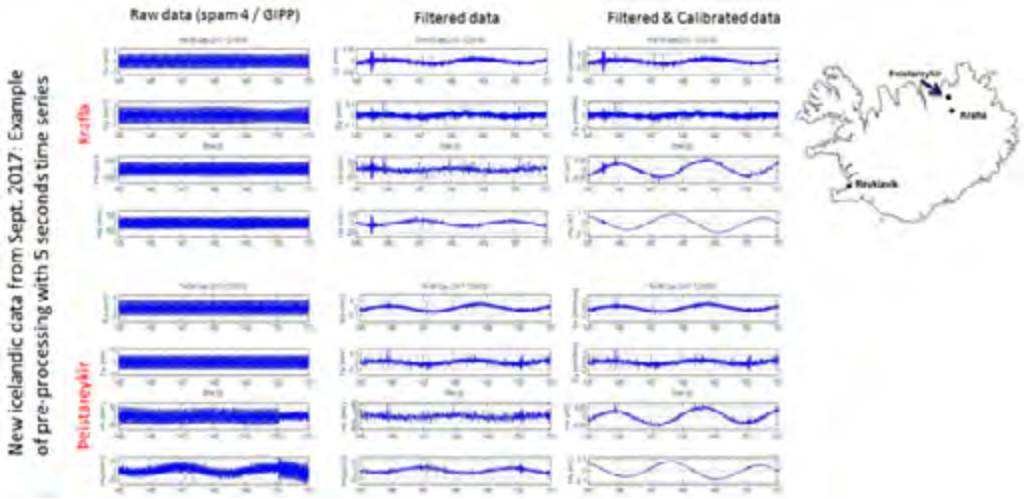
Le projet est consacré à la surveillance d'un réservoir géothermique par **méthodes électromagnétiques passives**. L'utilisation de mesures continues ou répétées des champs magnétiques et électriques dans plusieurs stations permet la connaissance des changements dans le temps et dans l'espace de la résistivité électrique souterraine et des sources électrocinétiques qui peuvent être liées aux sources naturelles ou anthropiques. Cette méthodologie est appliquée à Soultz-sous-Forêts et Rittershoffen. Il est en lien avec les deux autres projets du groupe MT-Gravi.

Avancées 2017

L'équipe a publié les principaux résultats de l'expérience de suivi magnétotellurique à Rittershoffen, et poursuit l'analyse de ces données.

Elle a **débuté une nouvelle expérience de suivi magnétotellurique en Islande.** Cette action s'effectue simultanément au suivi gravimétrique (voir page précédente) dans le cadre de la thèse de Nolwenn Portier. Cette étude a mobilisé la majorité des ressources en 2017 : mission de reconnaissance en juin, initiation aux techniques d'acquisition en juillet et installation des réseaux sur les deux sites islandais (août- septembre).

Le traitement des données a débuté. Il reste à analyser, traiter et inverser l'ensemble des données acquises et à les comparer avec celles qui seront obtenues en 2018 pour mettre en évidence des éventuelles singularités liées à la mise en fonctionnement de la centrale géothermale de Theistarykir.



Exemple de 5 secondes de mesures acquises en Islande à Krafla et Theistareykir. Trois étapes de traitement sont nécessaires pour passer des mesures brutes bruités (à gauche) aux mesures débruitées et calibrées (à droite).

Suivi des réservoirs par électro-magnétisme passif

Coordonné par Jean-François Girard

L'équipe poursuit l'étude du suivi par mesure passive en continu du potentiel électrique du doublet de forages sur le site géothermique de Rittershoffen. La fréquence de maintenance du dispositif de mesure a été allongée à 80 jours, et les mesures sont synchronisées par GPS avec les mesures du champ magnétique à la station géomagnétique du Welschbruch dans les Vosges.

La base de données recouvre plusieurs périodes d'exploitation sur une durée de deux ans, ce qui va permettre d'étudier statistiquement si des évènements significatifs ont été enregistrés. Il restera à identifier s'ils sont uniquement liés à l'activité géomagnétique ou s'ils sont induits par l'activité anthropique en les croisant avec les chroniques d'autres paramètres.

Stimulation des réservoirs géothermiques : étude de l'impact des joints naturels sur la rhéologie et les propriétés de frottement du grès

Coordonné par Patrick Baud et Michael Heap

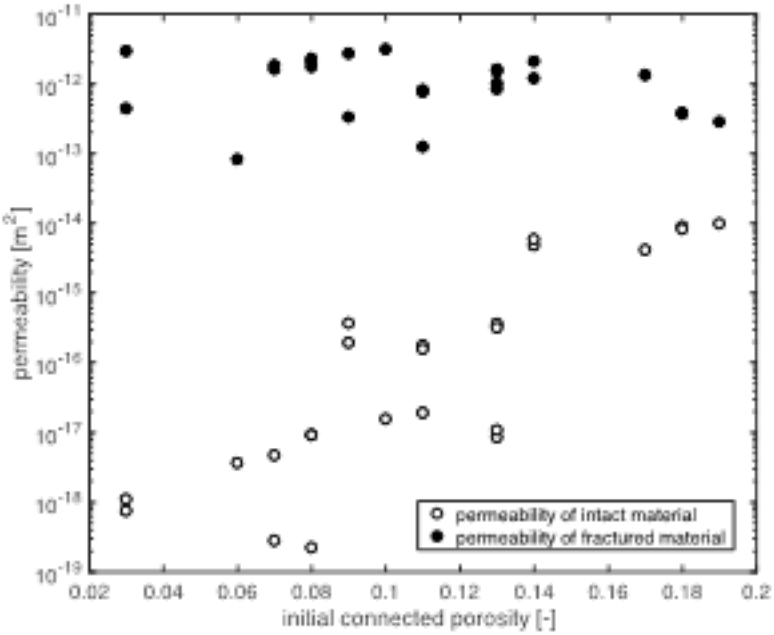
Pour le développement de systèmes géothermiques profonds, la stratégie est de **tirer profit des joints ou des failles préexistantes pour améliorer la perméabilité du réservoir sans créer de nouvelles fractures**. Cette stratégie est utilisée sur le site de Soultz-sous-Forêts. Cela nécessite une compréhension approfondie pour prédire la manière dont les joints et les fractures affectent la perméabilité du réservoir et pour savoir quand et comment ils doivent être stimulés pour améliorer la productivité. Les **joints ouverts ou scellés sont omniprésents** dans les réservoirs géothermiques. Leur présence peut influencer de manière significative les propriétés physiques et mécaniques des formations.

Ce projet vise à **quantifier l'impact des joints naturels** sur la rhéologie et les propriétés de frottement du Buntsandstein, une formation importante pour l'exploitation de l'énergie géothermique en Alsace.

Un grand nombre d'échantillons de Buntsandstein avec ou sans joint ont été préparés à partir des carottes de Soultz-sous-Forêts, et les **propriétés pétrophysiques de ces échantillons (porosité, perméabilité...) ont ensuite été mesurées**. Des mesures de rugosité ont également été effectuées à l'aide d'un profilomètre laser sur certains joints naturels qui avaient pu être ouverts. Ces mesures seront comparées avec celles effectuées sur des joints ouverts par stimulation hydraulique.

L'équipe a réalisé la **caractérisation mécanique de la roche hôte** et a pratiqué des **essais mécaniques aux conditions de pression in situ sur échantillons avec et sans joints.** Les résultats obtenus à ce jour **montrent de faibles variations de la perméabilité** du Buntsandstein. Les joints cimentés (principalement par de la barite) testés jusqu'ici ne se comportent pas comme des plans de faiblesse et n'affectent pas significativement le comportement mécanique du Buntsandstein.

Les **essais de stimulation hydraulique seront effectués au premier semestre 2018.** Le projet devrait être achevé fin 2018.



Impact de fractures sur la perméabilité du Buntsandstein (Kushnir et al., Geothermics, in review)

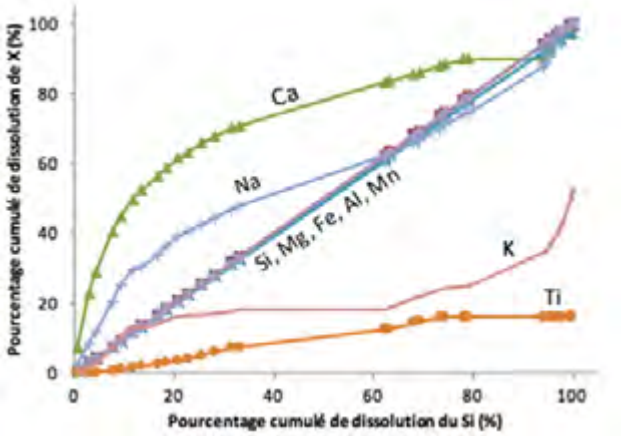
Hydro-géochimie

Expériences de dissolution minérale totale de minéraux : mise en évidence de comportements étonnants

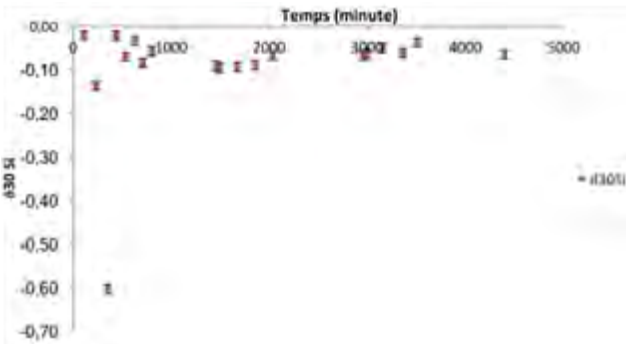
Coordonné par Damien Lemarchand

Ces expériences visent à **étudier le comportement des éléments traces et des fractionnements isotopiques associés.** L'objectif principal est de **tester l'hypothèse de travail selon laquelle les éléments traces sont distribués de façon aléatoire** dans les minéraux et sont donc libérés de façon stœchiométrique (donc conforme à la réaction chimique attendue), lors des réactions de dissolution en milieu aqueux.
La majeure partie du travail a consisté à identifier les minéraux à étudier et à définir les conditions expérimentales qui permettent une dissolution totale des minéraux.
Les difficultés analytiques ont été nombreuses et ont engendré une augmentation significative du temps investi et des coûts analytiques. Les contraintes expérimentales ont conduit à un choix très limité de minéraux et de conditions expérimentales. Nous avons opté pour une **dissolution de l'olivine et l'albite** à pH 1,5 et une température de 140 et 70°C respectivement.

Les premiers résultats que nous avons obtenus portent sur les concentrations en éléments majeurs et traces de l'albite et quelques-unes des concentrations en majeurs et traces de l'olivine. Ils montrent **une dissolution stœchiométrique des éléments majeurs,** ce qui est conforme à la réaction attendue.
De façon plus surprenante, les éléments traces montrent des comportements très différents selon les éléments étudiés. Ceux qui présentent des analogies chimiques avec les éléments majeurs montrent un comportement globalement stœchiométrique. Les autres éléments traces montrent, quant à eux, des taux de libération variables, retardés ou accélérés suivant les cas.
La libération accélérée pose des questions fondamentales sur la localisation exacte de ces éléments trace dans les sites cristallographiques et plus généralement sur les propriétés de transport des cations au sein d'un minéral mis en présence d'eau. Les résultats isotopiques partiels obtenus pour le silicium montrent également un comportement étonnant en début d'expérience.
Ces résultats restent préliminaires et nécessitent d'être validés par des analyses futures, mais ils **tendent vers la même conclusion d'un comportement particulier et précoce au cours des réactions de dissolution qui reste à élucider.**



Dissolution de chaque élément en fonction du temps d'interaction entre l'acide chlorhydrique et l'olivine.



Evolution en fonction du temps de la composition isotopique du Si (exprimée en ‰ par rapport à l'olivine) dans le fluide qui circule en contact de l'olivine.

Modélisation numérique du transport du fluide géothermique réinjecté dans le réservoir EGS de Soultz-sous-Forêts :

Approche minéralogique dans les bassins du Ringelbach et du Strengbach

Considérations sur les isotopes du strontium (Sr) et du neodyme (Nd), des traceurs des mécanismes d'altération

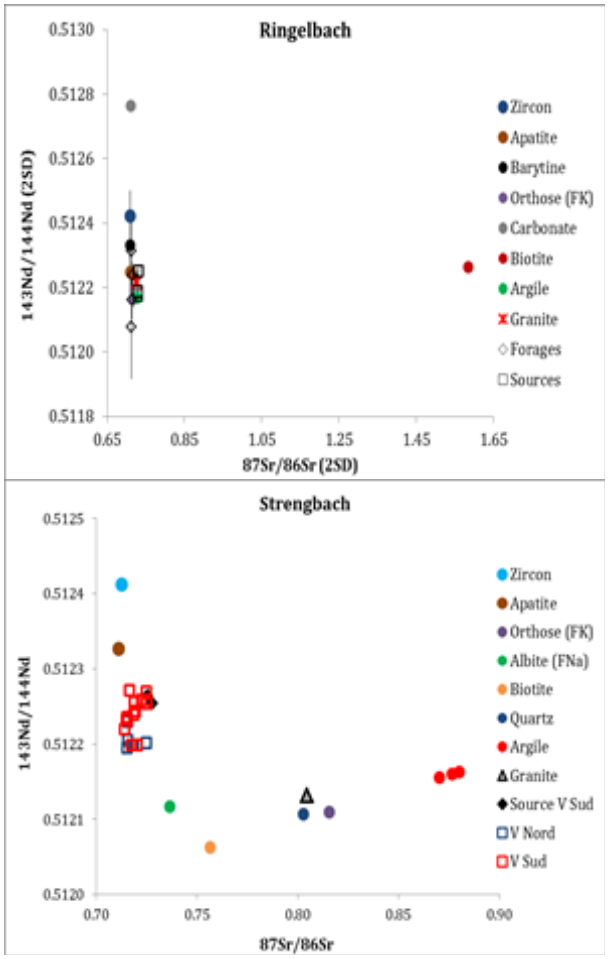
Coordonné par Yann Lucas

L'analyse des concentrations en éléments majeurs et en traces ainsi que des **compositions isotopiques en strontium et neodyme** a été réalisée sur l'ensemble des échantillons.

Pour le bassin du Ringelbach, un échantillon de granite profond ainsi que 7 phases minérales (apatite, zircon, barytine, carbonates, orthose, biotite et argile) ont été isolés et analysés. Pour le bassin du Strengbach, l'étude s'est portée sur un échantillon de granite frais issu d'un forage et 8 phases minérales (apatite, zircon, rutile, orthose, albite, quartz, muscovite et argile) séparées à partir d'un granite peu altéré.

Concernant les échantillons d'eaux, des données géochimiques comprenant les isotopes de Sr et Nd existaient déjà pour le bassin versant du Strengbach. Au Ringelbach, il a fallu compléter la base de données existante sur la signature en strontium des eaux de source et de forage, avec les données en néodyme, dont la composition isotopique n'avait jamais été mesurée.

Afin d'obtenir des quantités de néodyme suffisantes pour les mesures (2-30 ng), il a été nécessaire de rassembler différents échantillons. **Au total, 4 mélanges d'échantillons d'eau de forage et 5 d'échantillons d'eau de source ont été analysés.** Afin de pouvoir reconstruire la composition géochimique et isotopique en strontium des mélanges analysés, la proportion de chaque échantillon a été établie par pesée avant l'évaporation. Ensuite, les échantillons ont subi un protocole de digestion rapide comprenant deux étapes.



Rapports 143Nd / 144Nd et 87Sr / 86Sr pour les bassins versants de Ringelbach et de Strengbach

Etude géologique, stratigraphique, minéralogique et structurale de l'interface « couverture-socle » dans le Fossé rhénan. Application aux forages géothermiques de Soultz-sous-Forêts, Rittershoffen et Illkirch

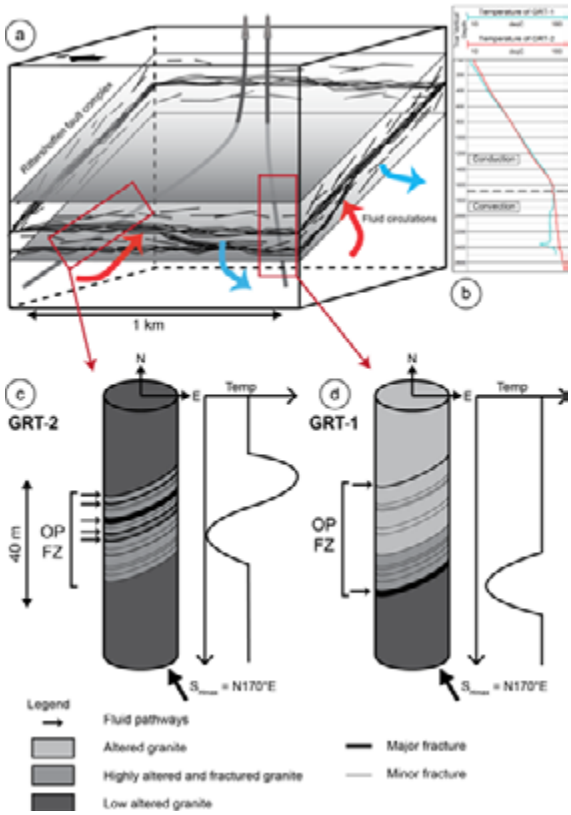
Coordonné par Hubert Whitechurch

Orientation des fractures et altération argileuse dans le granite des deux puits GRT-1 et GRT-2 à Ritterhoffen

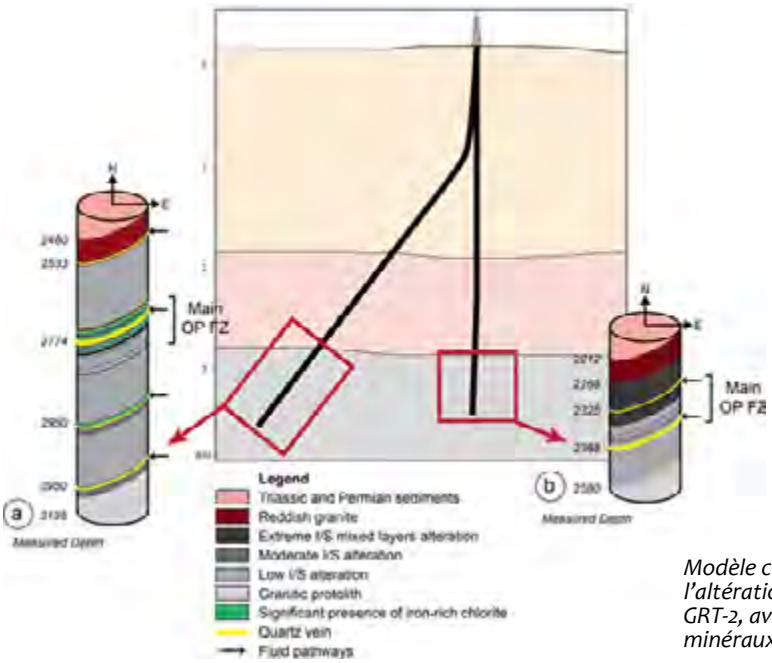
L'imagerie acoustique corrélée avec d'autres diagraphies géophysiques standard (rayons gamma, porosités neutroniques et calibre) ont permis de **définir les principales fractures naturelles observées dans les deux puits**. Leur **perméabilité** a été évaluée à l'échelle du forage à partir des anomalies positives de température, des pertes de boue et de libération de gaz. La géométrie des fractures est restituée le long de ces deux forages. La perméabilité de la fracture naturelle orientée N170 ° semble être intimement liée à des dépôts de minéraux secondaires résultant des paléo-circulations.

L'altération propylitique du granite se marque par cristallisation de magnésium, chlorite de fer, illite et épidote. Les étapes de circulations ultérieures peuvent être identifiées à partir d'assemblages dominés par les minéraux illitiques qui se sont formés successivement. La présence de chlorite enrichie en fer suggère la paléo-circulation d'un fluide réducteur avec une température de 200 °C. Les petites cristallites de couches mixtes d'illite et d'illite-smectite (<10% de smectite), associées aux oxydes de fer et aux hydroxydes, suggèrent une circulation d'un fluide oxydant à des températures plus proches de celles d'aujourd'hui. Ces assemblages sont associés aux zones de fractures perméables qui canalisent les fluides géothermiques dans le socle granitique de GRT-1 et GRT-2. Ces argiles ont réduit la porosité du réseau de fractures et ont contribué à la faible perméabilité naturelle (avant stimulation) de la zone de fracture OP principale.

Thèse de Jeanne Vidal



Modèle conceptuel de zones de fractures perméables dans les puits de Rittershoffen
a) les puits géothermiques ont ciblé la zone de faille de Rittershoffen dont le principal plan sismique est orienté N-S et plonge modérément vers l'ouest
b) les profils de température indiquent une zone de convection sous les sédiments du Trias et dans le granite
c) coupe schématique de la principale zone de fracture perméable granite de GRT-2
d) coupe schématique de la principale zone de fracture perméable du granite de GRT-1.



Modèle conceptuel pour l'altération des puits GRT-1 et GRT-2, avec la présence des minéraux argileux

(suite)

Analyse des données issues des sept carrières des Vosges et de la Forêt Noire

Les données de la campagne de terrain effectué dans les Vosges et la Forêt Noire ont été analysées. Sept carrières, dans la transition socle-couverture ont été étudiées : Saint-Nabor, Raon-l'Etape, Vieux Moulin dans les Vosges au Sud de Strasbourg, St Georgen et Baiersbronn en Forêt Noire à l'Est de Strasbourg et Waldhambach et Albertsweiler au Nord de Strasbourg en Allemagne. L'étude des lames minces de la partie basale du Permien à Raon-l'Etape montre une dolomitisation et une silicification, témoignant des circulations hydrothermales à la limite socle-sédiments.

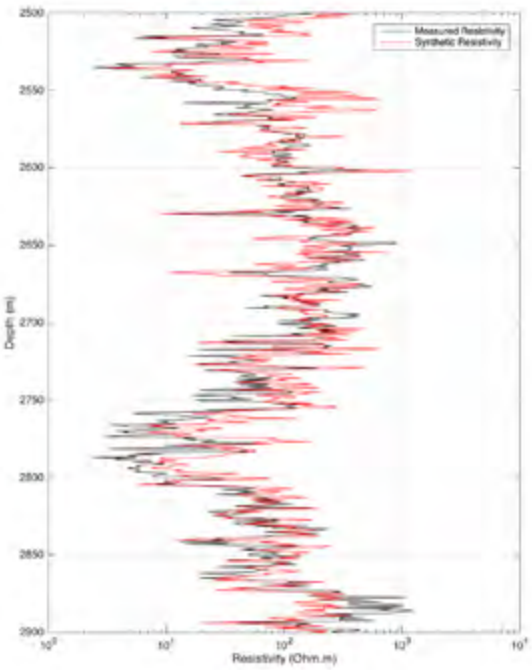
Thèse de Coralie Aichholzer

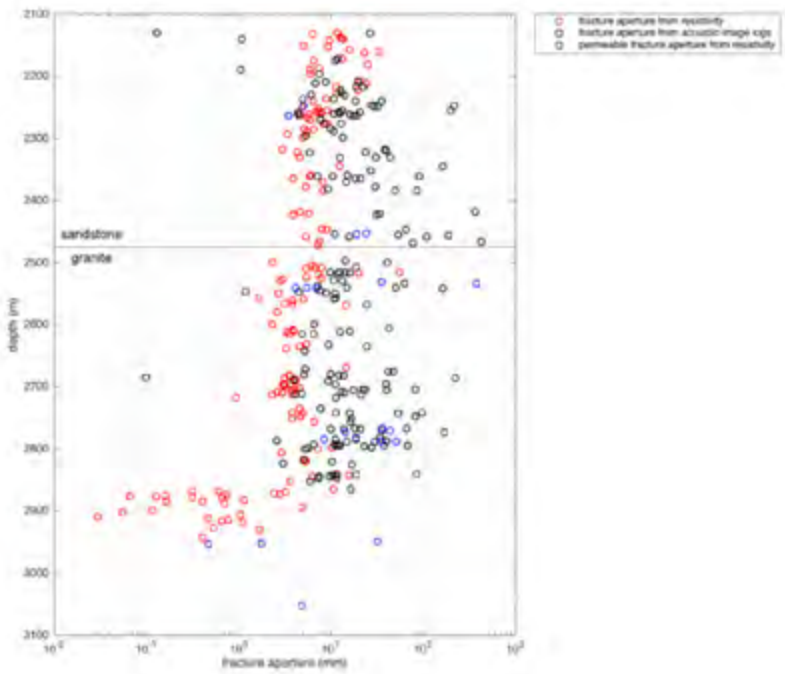
Observation dans la carrière de Raon l'Etape de la transition socle couverture. Dolomitisation et silicification observée dans la partie sédimentaire basale et dans le basalte fracturé.

Perméabilité des zones de fractures du socle granitique

L'analyse pétrographique et minéralogique de 300 échantillons du socle granitique du puits GRT2 de Rittershoffen a permis de repérer 34% des fractures observées avec les imageries acoustiques, avec une très bonne précision de plus ou moins 10 degrés, dans leur orientation géométrique. Un profil (log) synthétique calculé de résistivité électrique a été construit, il se corrèle exceptionnellement avec le log de résistivité mesurée. L'ouverture des fractures estimée par mesures électriques est inférieure d'un facteur 10 à celle déduite des mesures acoustiques. **Cette étude apporte donc des résultats sur les particularités (notamment minéralogiques) et la perméabilité des zones de fractures dans le socle granitique du puits géothermal GRT-2.**

Stage de master 2 de Carole Glass





A gauche : Log de resistivité calculé et log mesuré - A droite : Ouverture des fractures calculée par la résistivité

1 thèse soutenue en 2017

GEOLOGIE

Jeanne Vidal

« Altérations hydrothermales associées aux zones de fractures à l'interface de la couverture sédimentaire et du socle cristallin dans le Fossé rhénan supérieur. Application aux forages géothermiques de Rittershoffen ».

« La **compréhension des circulations de fluides dans un réservoir profond** est un enjeu principal pour le développement de projets de géothermie dans le Fossé rhénan supérieur.
Mes travaux avaient **pour objectif la reconnaissance du réseau de fractures naturelles** qui chenalisent les circulations à l'échelle des deux forages géothermiques profonds GRT-1 et GRT-2 de Rittershoffen qui ont recoupé les sédiments gréseux triasiques et le socle granitique altéré.
Ils reposent d'une part sur l'étude structurale de ce réseau de fractures à partir d'imageries de paroi acoustiques, corrélées à des diagraphies géophysiques standard et des profils de température, et d'autre part, sur l'étude pétro-minéralogique basée sur la caractérisation des altérations hydrothermales.
En parallèle de l'encadrement académique de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, j'ai travaillé en collaboration avec l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de l'Université de Poitiers pour la partie analytique sur les échantillons de roche et ES-Géothermie pour l'aspect compréhension du réservoir fracturé.

Mes résultats **montrent des zones de fractures perméables des puits de Rittershoffen avec une organisation asymétrique de la perméabilité.**
Des fractures ouvertes à l'échelle du puits semblent agir comme des **drains perméables** entourés de halos d'altération hydrothermale. La présence de minéraux illitiques hétérogènes pourrait être un indicateur pour prospecter les zones de circulations actuelles et passées à l'échelle des puits.

Cette étude géologique apporte des éléments pour **évoluer vers un modèle de réservoir hydrothermal possédant des connexions hydrauliques favorables sans avoir recours à des opérations de stimulation.** »

Thèse co-financée par l'Ademe et le LabEx G-eau- thermie Profonde. Elle s'appuie sur l'analyse des données de sous-sol du projet industriel de Rittershoffen dont ÉS Géothermie est propriétaire.

11 thèses sont actuellement en cours, dont 5 ont commencé en 2017.

Parmi elles, 5 s'intègrent dans les projets labellisés LabEx (financement Investissement d'avenir), deux s'intègrent dans les projets H2020 Destress et EGS Alsace (Ademe) et deux autres sont financées par ÉS et Storengy.

RECHERCHE GRANDS PROJETS

Au sein du LabEx, la recherche en géothermie profonde s'effectue aussi à travers deux projets européens (H2020 Destress, H2020 Epos), un projet ANR (ANR Cantare), le projet EGS Alsace soutenu par l'Ademe, et le CoGéos.
Tour d'horizon des avancées 2017.

H2020 Destress

Étude et développement de stimulations innovantes pour améliorer la productivité des réservoirs en minimisant les risques environnementaux (technologie EGS)

DESTRESS
Demonstration of soft stimulation treatments of geothermal reservoirs
www.destress-h2020.eu

PHYSIQUE DES ROCHES ET HYDROGÉOCHIMIE

Stimulation à l'acide, étude en laboratoire

L'objectif est **d'étudier l'efficacité d'un programme de stimulation potentiel** du puits GPK4 de Soultz-sous-Forêts en s'appuyant à la fois sur des expériences en laboratoire et des simulations numériques.

Concernant l'approche expérimentale, l'équipe a mis au point un **nouveau perméamètre** permettant l'utilisation de fluides agressifs (stimulation acide), ainsi que son programme de pilotage. Des missions sur le terrain ont été effectuées pour collecter des échantillons de granite à deux micas avec et sans fracture.

En décembre, des premiers **essais de traitement chimique ont été effectués** avec des acides à différentes concentrations ainsi que des mesures de perméabilité et de résistance mécanique. Les mesures effectuées à ce jour révèlent **une augmentation de la porosité et de la perméabilité du granite étudié** en fonction du temps d'exposition à l'acide. Les résultats ont été présentés à l'AGU Fall meeting 2017 et à l'EGW.

Les **mesures se poursuivront en 2018** (mesures de la perméabilité sur des roches du site de Soultz-sous-Forêts traitées avec des acides à différentes concentrations).

La stimulation acide comprend un traitement dit de stimulation douce, par lequel une combinaison d'acides, d'agents chélateurs ou retardateurs est injectée ou introduite dans la section à trou ouvert d'un puits géothermique, dans le but ultime d'augmenter la perméabilité de la roche tout en évitant la génération de sismicité détectable.

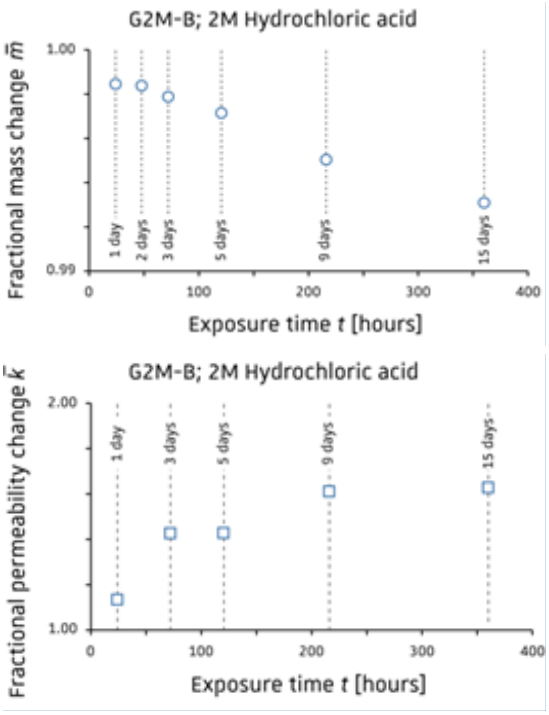
Le matériau récupéré de l'opération de forage était insuffisant, l'équipe a utilisé des blocs de granite collectés près de Forbach en Allemagne. Les granites variablement altérés semblent être un **analogue idéal pour le réservoir profond de Soultz-sous-Forêts.**

Les échantillons de roche ont été divisés en trois séries pour l'expérimentation. Ils ont été **immergés dans des solutions acides** (acide chlorhydrique) pendant des périodes variables, et leur masse, leur porosité et leur perméabilité avant, pendant et après l'immersion.

La stimulation par l'acide s'est révélée être un **moyen inefficace d'augmenter la perméabilité après une contrainte thermique à haute température** (600 ou 700 ° C). Dans de tels cas, la perméabilité avait déjà été considérablement augmentée (de <10-21 m2 à> 10-16 m2) en raison de l'introduction de nouvelles microfissures. La dissolution minérale par l'acide chlorhydrique n'était pas suffisante pour augmenter la perméabilité au-delà de cette valeur. De même, les granites naturellement fracturés (série G2M-F) **ont montré peu ou pas d'augmentation de la perméabilité après un traitement acide**, vraisemblablement en raison de leurs perméabilités de pré-stimulation élevées.

Cependant, des mesures préliminaires de perméabilité ont été effectuées sous des pressions de confinement de plus en plus élevées en utilisant de l'eau comme fluide interstitiel. Comme observé dans d'autres études, l**a perméabilité diminue avec l'augmentation de la pression de confinement** (analogue à la profondeur). Ce phénomène est beaucoup plus prononcé dans les échantillons les plus fracturés. Cela est à prévoir, car la pression de confinement sert à fermer les fractures préexistantes.

Une **analyse par rayons X après stimulation** de certains échantillons de granite est prévue pour fin janvier 2018. Cela nous permettra d'identifier quels mécanismes de dissolution ou de précipitation ont été actifs pendant l'immersion acide.



Données expérimentales des essais à l'acide. On observe une diminution de la masse relative de l'échantillon en fonction du temps (à gauche) et une augmentation de sa perméabilité (à droite) en fonction du temps.

Construction d'un modèle numérique hydrogéochimique

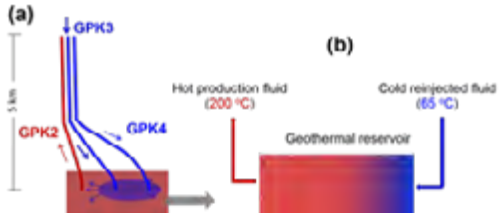
Avant de réaliser la stimulation chimique dans le système géothermique de Soultz, la **modélisation numérique permet de déterminer les scénarios appropriés** en termes de choix d'acide, de quantité et de durée d'injection.

L'approche utilisée dans ce travail est typiquement basée sur un code géochimique, appelé KIRMAT, qui permet de représenter la porosité initiale du réservoir de deux manières différentes (porosité homogène et double porosité) et de modéliser une large gamme de différents groupes minéraux.

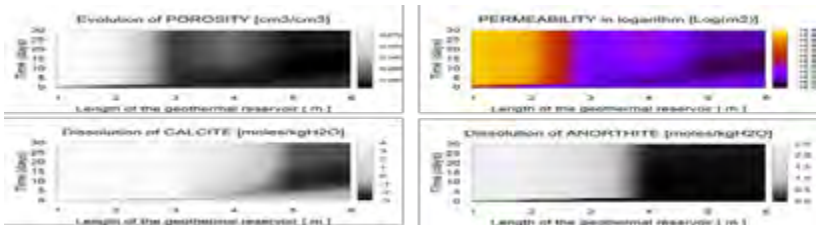
Un cas de référence a été défini pour une modélisation de la stimulation du granite profond (granite à deux micas) dans la zone ouverte du puits GPK4. Les résultats de la modélisation ont montré que la **stimulation chimique pourrait augmenter la porosité et la perméabilité** du réservoir géothermique. Les zones améliorées sont cependant **très limitées**, ce qui signifie que la porosité et la perméabilité ne sont augmentées que de quelques mètres autour du puits. La sensibilité de divers paramètres a été également évaluée, y compris le coefficient de diffusion, la vitesse de filtration (ou de Darcy), la concentration d'acide injecté, la durée

d'injection d'acide, et la quantité initiale de minéraux carbonatés.

Nous notons également que la stimulation acide implique une légère ouverture de la porosité et augmente la perméabilité du réservoir géothermique. Cependant, en raison de la forte réactivité de l'acide chlorhydrique, la zone impactée peut être très limitée autour du puits d'injection. **Un acide faible devrait être utilisé** afin qu'il puisse pénétrer dans le réservoir géothermique autant que possible.



Système géothermique de Soultz-sous-Forêts (à gauche) .GPK2 est le puits de production, GPK3 et GPK4 sont les puits de réinjection. Modèle conceptuel (à droite) avec le puits de réinjection (≈ 65°C) et le puits de production (≈ 200°C)



Résultats numériques obtenus pour le cas de référence: La porosité du réservoir géothermique est légèrement ouverte. La perméabilité est également augmentée. Les carbonates et l'anorthite sont fortement dissous en raison de leur réaction avec la solution acide.

SCIENCES SOCIALES

Une **enquête quantitative a été menée dans quatre zones distinctes** dans lesquelles des projets de géothermie profonde étaient planifiés ou en cours de réalisation : trois zones dans le périmètre de l'Eurométropole de Strasbourg (projets d'Illkirch-Graffenstaden, d'Eckbolsheim et de Vendenheim-Reichstett) ; une zone dans le Nord de l'Alsace couvrant les sites de Soultz-sous-Forêts, Rittershoffen et le projet de Wissembourg. Le questionnaire a été administré auprès de **880 personnes** en utilisant la méthode des quotas. Des résultats partiels ont été présentés à l'occasion de l'EGW 2017. Une sélection des personnes interrogées lors de cette enquête a été invitée à participer aux focus groups organisés à compter du 16 janvier 2018.

SISMOLOGIE

Modélisation directe de la diffusion des ondes pendant la déformation élastique d'une roche et construction de l'interférométrie de codas

L'interférométrie du bruit ambiant pour la surveillance des réservoirs géothermiques profonds

L'interférométrie des codas des ondes sismiques (CWI) (corrélation des arrivées tardives dans les signaux sismiques) permet de **suivre des changements infimes dans les matériaux solides comme les roches** où les ondes élastiques diffusent du fait des hétérogénéités. Comme ces ondes échantillonnent l'ensemble du milieu du fait de leur trajet brownien, elles rendent la **technique plus sensible** que celles qui dépendent de l'arrivée directe des ondes. Son application au bruit sismique ambiant, appelée **interférométrie du bruit ambiant** (ANI), a trouvé un large éventail d'applications au cours des dernières années, comme la **surveillance des réservoirs** ou l'évolution des failles régionales.

Physiquement, les variations des temps d'arrivée observés sont généralement interprétés comme de petites variations de vitesses sismiques. Toutefois, cette interprétation est discutable. Le travail de thèse de Jérôme Azzola a permis de montrer, à partir d'une modélisation numérique directe, qu'il **existe également un signal de déformation** dans les mesures CWI, ce qui pourrait fournir de **nouvelles perspectives** pour cette technique.

Pour ce faire, il a **modélisé la propagation des ondes sismiques dans un milieu diffus** en utilisant une approche par éléments spectraux (SPECFEM2D) lors d'une déformation élastique d'un échantillon de roche. Le comportement mécanique est obtenu à partir d'une approche par éléments finis (Code_Aster) en maintenant constante la grille de maillage de l'échantillon pendant toute la procédure pour limiter les artefacts numériques. La CWI des arrivées tardives dans les sismogrammes synthétiques est effectuée à l'aide d'une technique d'étirement dans le domaine temporel ou d'une méthode de corrélation en temps. Les deux montrent que la CWI est sensible à l'hétérogénéité du champ de déformation élastique en plus de la déformation volumétrique isotrope et indépendamment des effets acousto-élastiques non linéaires. **Ces travaux montrent qu'il existe de nouvelles applications pour la surveillance de la déformation des réservoirs géothermaux profonds.**

EGS Alsace

Industrialisation de la géothermie profonde de type EGS (Enhanced Geothermal System)

SISMOLOGIE

Analyse des séismes induits lors de la stimulation de réservoirs géothermiques (Soultz-sous-Forêts)

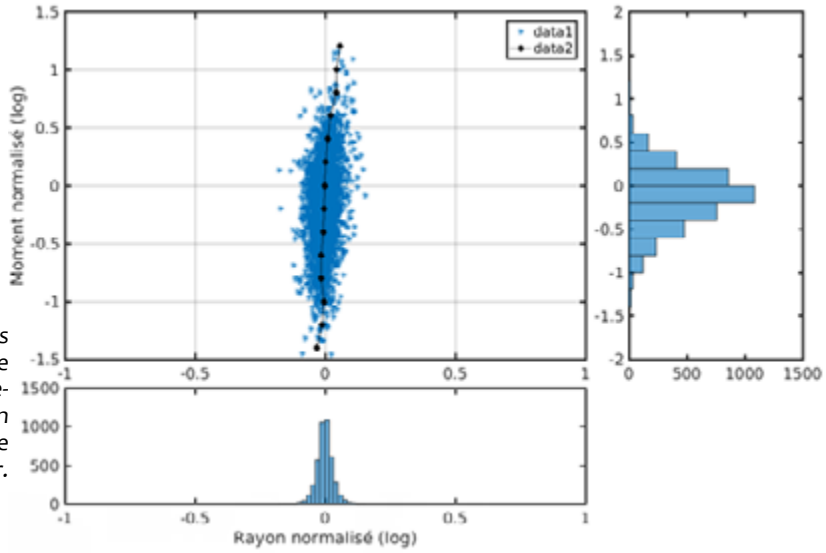
Les mouvements asismiques semblent importants dans les réservoirs géothermiques. Cependant, leur détection et leur caractérisation découlent souvent d'observations indirectes. Nous **étudions ici si la sismicité associée à la stimulation de 1993** du réservoir EGS de Soultz-sous-Forêts qui montre des signes attestant de tels mouvements. En particulier, nous concentrons nos travaux sur l'**analyse des tremblements de terre répétitifs** définis par des formes d'onde similaires, suggérant un mécanisme et une localisation communs. On suppose que le glissement lent environnant, sur la faille, est à l'origine de tels événements.

Nous avons identifié des milliers d'événements sismiques, comme des tremblements de terre répétitifs enregistrés à partir d'un réseau sismique de forage, et nous les avons classés en centaines de multiplets (familles). En comparant les dimensions des sources avec les distances inter-événements, nous avons vérifié que ces événements ont effectivement des sources co-localisées.

Malgré des formes d'onde et des sources de taille comparables, nous avons observé une variation significative des amplitudes des événements récurrents sur une même aspérité, ce qui est interprété comme une variation du glissement sismique. Il fournit donc une mesure locale de la variation de glissement sismique.

Nous observons en outre une augmentation des amplitudes des évènements, ainsi qu'une variation majeure dans la dimension des sources au cours du temps de la stimulation. Ces paramètres semblent être liés : (i) aux paramètres qui contrôlent la stimulation hydraulique, caractérisée par une augmentation du débit d'injection (et donc accompagnée d'une augmentation de la pression d'injection, du volume injecté et de l'énergie) ; (ii) au milieu rencontré, par la concentration d'évènements aux dimensions de rupture plus faibles sur une fracture pré-existante.

Post-doc de Léna Cauchie



Distribution des moments sismiques et des rayons des sources normalisés pour chaque famille de séismes récurrents : au sein d'une famille, les évènements sont caractérisés par des sources de dimension comparable et présentent une variation d'amplitude significative, jusqu'à deux ordres de grandeur.

SISMOLOGIE

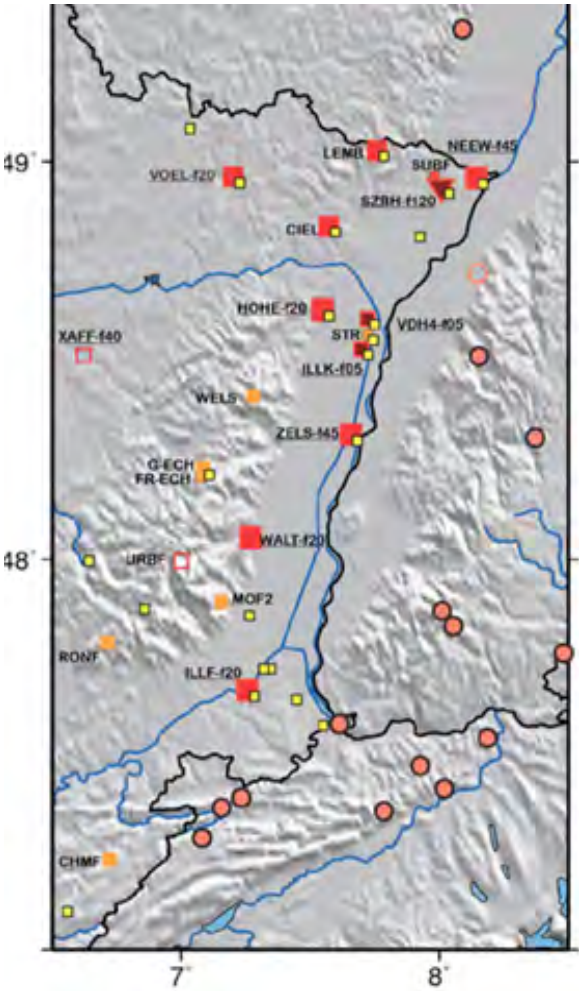
Un nouveau réseau pour améliorer le suivi de l'activité sismique en Alsace

8 nouvelles stations sismologiques permanentes ont pu être installées cette année en Alsace par l'Observatoire Sismologique du Nord-Est de la France (ObSNEF, EOST). Elles viennent compléter d'autres stations, déjà opérationnelles ou en cours de construction, issues des réseaux nationaux de l'infrastructure de recherche RESIF ou installées sur les sites de production géothermique par les opérateurs industriels.

La densification de ce réseau régional a pour objectif premier **d'abaisser le seuil de détectabilité** afin de localiser avec précision tout évènement de magnitude supérieure à 1.5, assurant ainsi **une surveillance fine de l'activité sismique naturelle et induite** (en particulier liée aux opérations sur les sites géothermiques) dans toute la région.

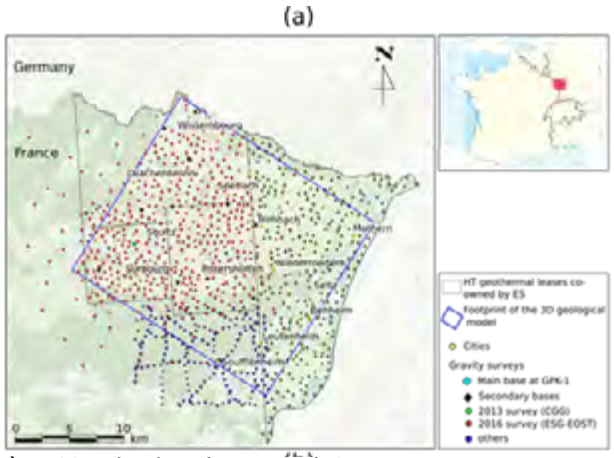
La réalisation de ces 8 stations s'est étalée de septembre 2015 à décembre 2017 et a nécessité un investissement important de l'équipe pour rechercher des sites adéquats et construire les infrastructures accueillant les équipements scientifiques et les éléments techniques permettant d'assurer un fonctionnement en continu et une transmission en temps réel des données.
Pour 6 stations, un forage de quelques dizaines de mètres a été réalisé pour installer un capteur dit « fond de puits » et ainsi améliorer les performances à la fois pour les hautes fréquences et les longues périodes. Ce type d'installation est rendu nécessaire par le fort niveau de bruit lié aux nombreuses activités humaines et amplifié dans les zones sédimentaires. En sus du capteur vélocimétrique, chaque station intègre également un capteur accéléromètrique.

Les stations sont désormais **opérationnelles** et les **données sont transmises directement au site central du BCSF-RéNaSS à l'EOST** qui les met à disposition de la communauté à travers le portail RESIF (http://seismology.resif.fr) et qui les utilise pour détecter, localiser et discriminer l'ensemble des évènements sismiques de la région.

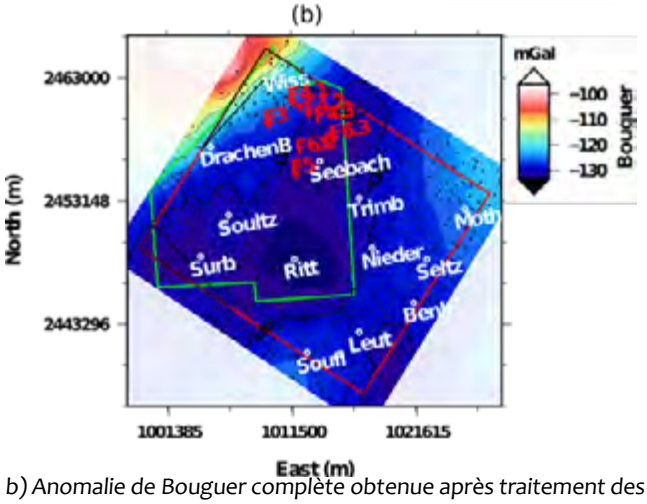


Carte des stations sismologiques permanentes dans la zone rhénane. Les stations bâties dans le cadre du programme EGS Alsace sont représentées par des carrés rouge.

Station sismologique permanente (ILLF - Illfurth – Haut Rhin) installée dans le cadre du programme EGS Alsace.



a) Position des données gravimétriques



b) Anomalie de Bouguer complète obtenue après traitement des données.

MAGNÉTOTELLURIE-GRAVIMÉTRIE

Modelisation gravimétrique et géologique pour l'évaluation du potentiel géothermique en Alsace du Nord

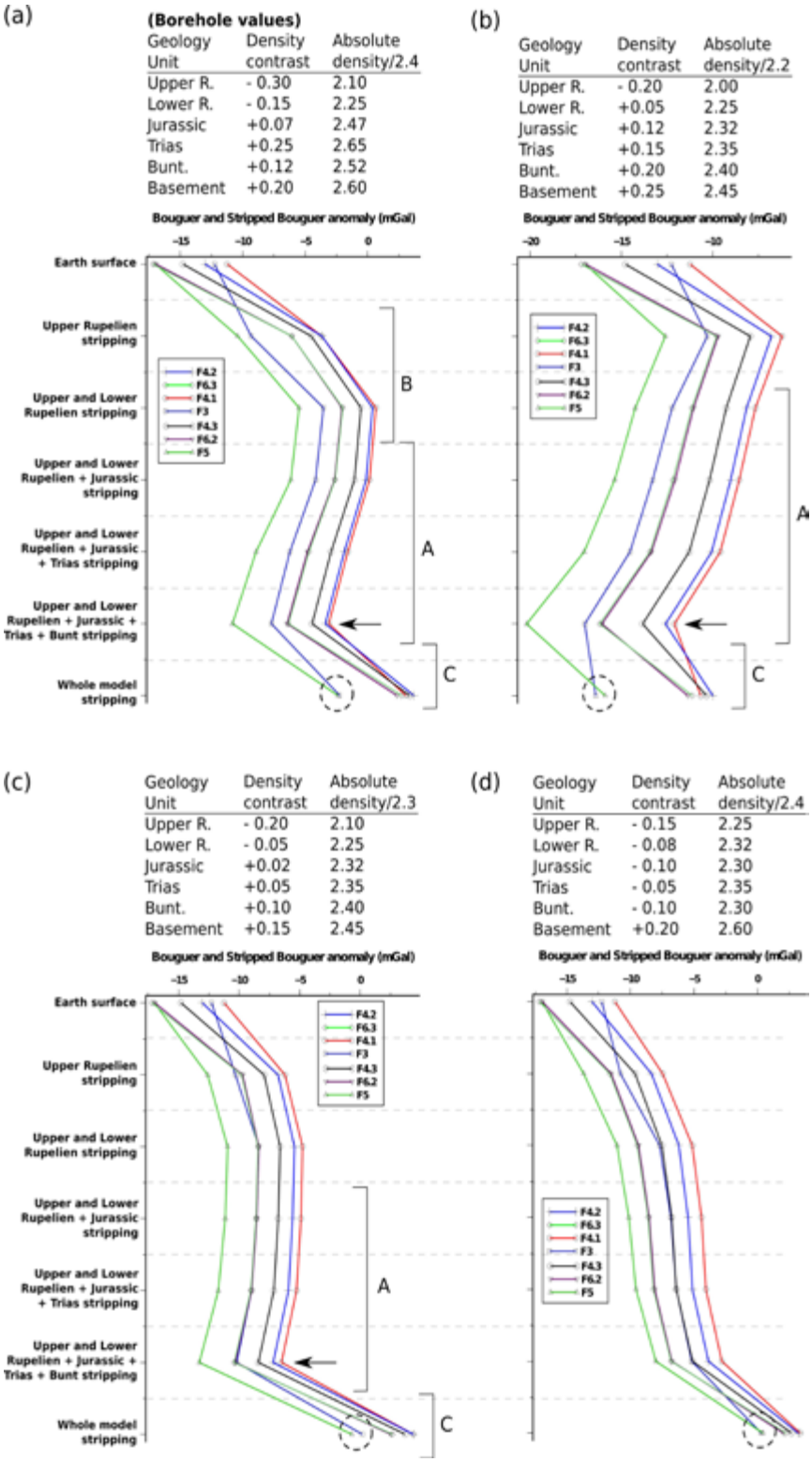
Les données gravimétriques acquises ont été traitées conjointement avec des données acquises par CGG (Compagnie Générale de Géophysique-Veritas) en 2013 et d'anciennes données (Fig 1a) pour obtenir l'anomalie de Bouguer complète (Fig 1b).

Une analyse en pseudo-tomographie, réalisée en fonction de la longueur d'onde, a permis une interprétation qualitative et de comprendre l'origine des anomalies de densité. Les anomalies gravimétriques négatives qui stipulent une diminution de la densité en profondeur ont été bien analysées car elles **montrent les zones potentiellement intéressantes du point de vue géothermique.**

Une étude quantitative sur la base d'un modèle géologique 3D existant a été également réalisée. L'objectif est de séparer le signal gravimétrique provenant de la géométrie et celui provenant de la fracturation et de l'altération hydrothermale en profondeur.

Pour mieux interpréter les résultats, un stripping a été réalisé qui consiste à calculer l'effet gravimétrique d'une unité géologique et de le soustraire aux données mesurées. Dans cette analyse, nous nous sommes focalisés sur la région nord où sept forages de gradient thermique ont été réalisés (notés Fx.x enrouge sur la figure 1).

L'interprétation des résultats gravimétriques corrèle bien avec les résultats issus de ces forages, où F3 et F5 montrent un fort gradient thermique alors que la gravimétrie montre que ces mêmes forages présentent une anomalie de densité plus élevée que les autres (Fig 2). Cette étude a été achevée par la soumission d'un papier à Geophysics (Abdelfettah et al., subm.) discutant ces étapes, les résultats et leur interprétation.



Ci-contre : Résultats du stripping en fonction de la profondeur/épaisseur localisés sur la position des forages des gradients thermiques

GÉOLOGIE

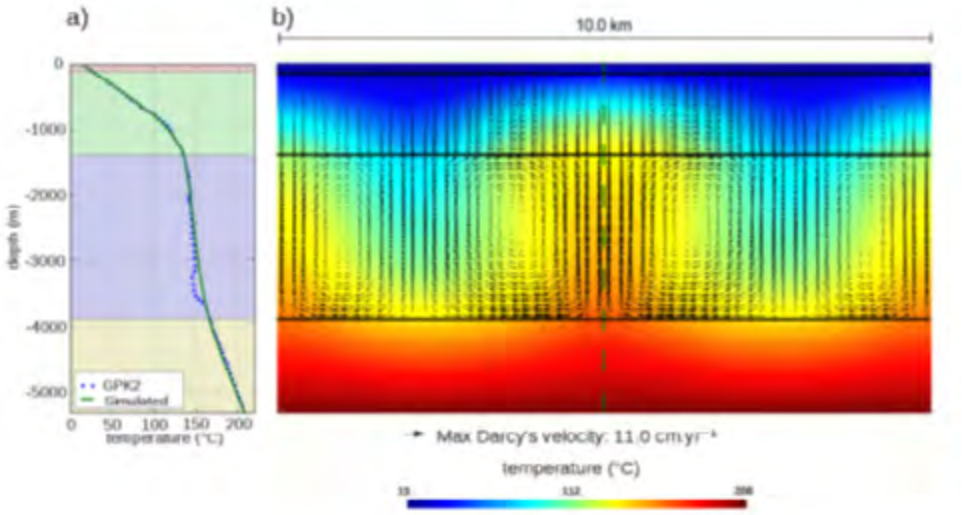
Modèle thermo-hydro-mécanique du réservoir de Soultz-sous-Forêts

De nombreux modèles numériques du réservoir géothermique profond de Soultz-sous-Forêts ont été développés au cours des dernières décennies. Cependant, **un modèle de réservoir qui intègre la plupart des données géophysiques à grande échelle** n'est toujours pas disponible.

Pour ce faire, les travaux menés dans le cadre de la thèse de Bérénice Vallier cherchent à développer un tel **modèle thermo-hydro-mécanique** (THM) en deux dimensions (10 km à l'échelle horizontale et 5 km de profondeur) selon la méthode des éléments finis. L'approche néglige les détails de l'écoulement du fluide le long des failles majeures en supposant un volume élémentaire représentatif d'une taille de 100 m.

La spécificité de l'approche est d'inverser à partir de profils de température et de contraintes à grande échelle, plusieurs paramètres clés du réservoir comme la conductivité thermique, la perméabilité, le module de Young et le module de Poisson.

L'étude apporte de nouvelles perspectives sur l'extension des cellules de convection hydrothermale en profondeur, sur l'interprétation du gradient linéaire de température à faible profondeur et sur le changement d'échelle des propriétés physiques des roches, de l'échelle du laboratoire à l'échelle du terrain. Il met en évidence une faible influence de la transition lithologique entre les sédiments et le socle granitique, sur la circulation hydrothermale contrairement aux études précédentes. Il ressort également un effet significatif de la viscosité de la saumure présente dans le réservoir sur la circulation hydrothermale. La variabilité latérale des profils de température en fonction de la profondeur dans le fossé rhénan supérieur s'avère cohérente avec les prédictions de ce modèle simple.



a) Comparaison du profil de température simulé obtenu au milieu de l'intervalle de la grille de maillage du modèle de Soultz-sous-Forêts (en vert) et le profil observé au puits GPK2 (points bleus).
b) Cartes des températures calculées (couleurs de fond) et vitesses de Darcy (flèches noires) - les unités géologiques sont simplifiées en 4 domaines (sédiments supérieurs : rose ; sédiments inférieurs : vert clair ; granite supérieur fracturé : violet ; granite inférieur peu fracturé : jaune). La ligne pointillée verte verticale est l'emplacement du profil de a)..

SCIENCES SOCIALES

Enquêtes sociales sur la différence de perception des habitants

Le travail d'analyse s'est concentré sur les facteurs permettant d'expliquer les variations d'attitude vis-à-vis des projets de géothermie profonde selon les contextes. Parmi ceux-ci, retenons : la façon dont le territoire est investi par les habitants ; la nature des projets avec une distinction entre «projet ancré», fruit d'échanges préalables avec les collectivités locales, et «projet hors-sol». Ces résultats ont été présentés à l'occasion de trois congrès et feront l'objet de publications à paraître en 2018.
Une sélection des personnes interrogées lors de cette enquête a été invitée à participer au focus group organisé à partir de janvier 2018.

ANR Cantare

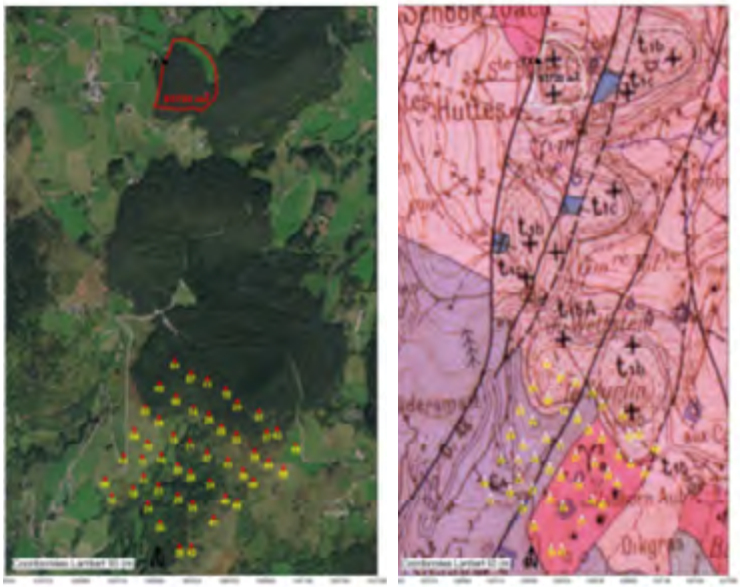
Etude ciblée du contexte alsacien pour le développement de la géothermie profonde

MAGNÉTOTELLURIE-GRAVIMÉTRIE

Campagne de mesures électromagnétiques sur le bassin versant du Ringelbach

Une campagne de mesures électromagnétiques CSEM a été réalisée debut juillet 2017 par les partenaires du projet ANR Cantare : l'IPGS, le BRGM et ÉS Géothermie. Les mesures ont duré 5 jours après une reconnaissance des sites et des prises de contact avec les propriétaires et administrations locales réalisées en mai par l'IPGS.

Près de 15 personnes ont participé aux mesures réparties en 4 équipes qui devaient installer une station de mesure des champs électriques et magnétiques passive tous les 200 m. Un émetteur inductif consistant en une boucle de courant situé à 2 km au nord de la zone étudiée a servi à émettre des signaux contrôlés dont les variations renseignent sur les propriétés électriques du sous-sol : géologie, présence d'eau, eau plus conductrice. Ces travaux ont donné lieu à un stage de master et un stage ingénieur encadrés par l'IPGS et le BRGM. Ils ont permis d'obtenir une image 2D de la zone. Les travaux se poursuivent pour exploiter l'information en 3D.+

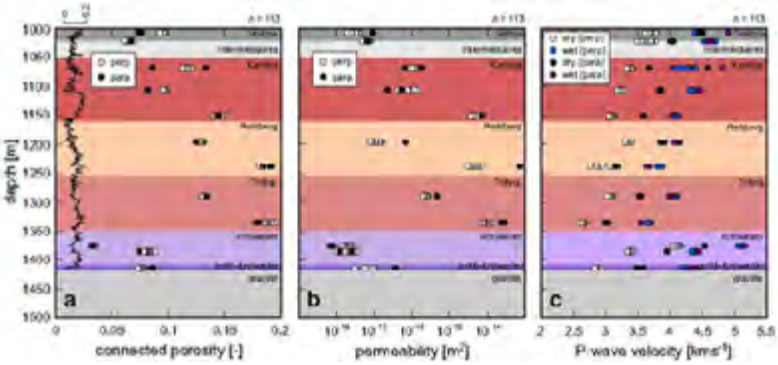


Implantation des mesures électromagnétiques sur le bassin versant du Ringelbach (68) sur fond IGN à gauche et sur fond de la carte géologique BRGM (geoportail) : boucle émettrice au nord et nappe de récepteurs au sud qui couvre un contact géologique séparé par une faille avec des manifestations hydrothermales anciennes.

PHYSIQUE DES ROCHES

Mesures pétrophysiques

L'équipe a terminé les **mesures pétrophysiques** sur le Buntsandstein (*Geothermal Energy* - Heap et al., 2017), étudié l'**impact des fractures ouvertes sur la perméabilité** du Buntsandstein (*Geothermics* - Kushnir et al., in review), achevé les **mesures de vitesses élastiques à hautes températures** (*Journal of Geophysical Research* - Griffiths et al., in review). En septembre, elle a effectué une **estimation de la résistance mécanique en conditions in situ du granite** de Soultz-Sous-Forêts (*Geothermal Energy* - Villeneuve et al., in review).



Porosité, perméabilité et Vp en fonction de la profondeur dans les roches de la couverture sédimentaire au site de Soultz-Sous-Forêts (Heap et al., Geothermal Energy, 2017)

En fin d'année, les **mesures sur les roches de la transition couverture-socle** provenant du site de Saint-Pierre Bois ont été achevées (*Journal of Structural Geology* - en cours), ainsi que les mesures pétrophysiques sur les échantillons provenant du site du **Ringelbach** (*Pure and Applied Geophysics* - en cours). L'équipe a aussi effectué les mesures des **propriétés physiques aux conditions in situ** sur le Buntsandstein. Les mesures à haute pression et haute température se poursuivront en 2018.

Six présentations ont été proposées en 2017 dans différents congrès internationaux sur les résultats obtenus à ce jour. En 2018, elle poursuivra les travaux avec les mesures des propriétés physiques des roches du site de Soultz-sous-Forêts aux conditions in situ.

CoGéos

Suivi sismologique de la géothermie profonde en Alsace

SISMOLOGIE

Durant l'année 2017, les équipes du CoGéos (EOST et ÉS Géothermie) **ont poursuivi leurs activités de prestations pour le suivi sismologique et géodésique de différents sites de production géothermique** : construction et maintenance de stations, récupération, traitement automatique et archivage des données, réalisation de différents produits (séries temporelles de déformation du sol, catalogues de sismicité, ...).

Le réseau de 4 stations sismologiques installées autour du site de Rittershoffen en 2012 présente toujours de **très bonnes performances** avec une complétude des données de 99,8% en 2017. Sur ce modèle, **une rénovation complète du réseau historique situé autour de la centrale de Soultz-sous-Forêts a été initiée** cette année pour deux stations. Plusieurs tests ont également été menés sur le capteur en forage de la station SZBH pour tenter de déterminer sa profondeur optimale en termes de niveau de bruit ambiant.

D'autre part, dans le cadre de l'arrêté préfectoral du 21/09/2015, un site du réseau de Rittershoffen (BETS) et un du réseau de Soultz-sous-Forêts (OPS) **ont été convertis en stations multi-instrumentées** comprenant un capteur sismologique large bande, un accéléromètre, une antenne GPS et réflecteur coin. Les données sismologiques issues de ces deux stations sont maintenant publiques et accessibles en temps réel sur le portail RESIF (http://seismology.resif.fr).

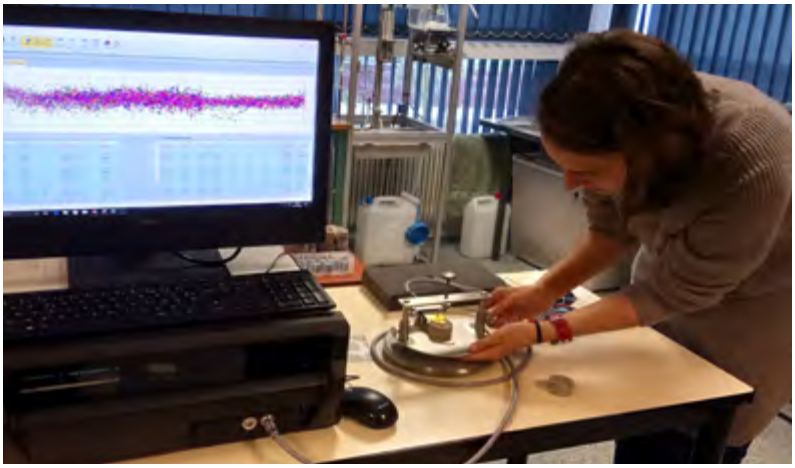
En parallèle, le CoGéos continue à maintenir les stations sismologiques et géodésiques installées autour de la future centrale géothermique d'Illkirch et qui permettent de caractériser la sismicité naturelle de la zone avant la réalisation des forages prévue pour l'année 2018.

GÉODÉSIE

Le suivi des sites de Soultz-sous-Forêts et Rittershoffen est assuré grâce au réseau GNSS comptant six stations continues. Elles permettent un suivi des déplacements verticaux et horizontaux et des lignes de bases entre les stations. Celles-ci **ne présentent pas de mouvements suspects,** et les déplacements aux stations sont dominés par le signal saisonnier. Les déplacements, l'évolution des lignes de base et l'état des stations de Soultz-sous-Forêts (GPK1 et GPK2) et Rittershoffen (Ecogi) sont accessibles sur le **site web de l'EOST** (Observatoire géodésique).

Dans le cadre de la thèse d'Eric Henrion (financement ÉS/Storengy), l'analyse des séries temporelles InSAR est en bonne voie. Dans la continuité de la thèse de Christine Heimlich, le site de Landau a été choisi comme cas d'étude puisqu'un accident a pu être détecté. Ainsi, le traitement des données SAR acquises par le satellite TerrasarX jusqu'à 2017 a été fait, avec un algorithme de détection de mouvements anormaux.

Alexandra Kushnir, post-doctorante à l'EOST, place la sonde sur l'échantillon pour en mesurer sa conductivité thermique.



PHYSIQUE DES ROCHES

Le laboratoire de physique des roches a acquis en septembre **un conductimètre thermique** (cofinancement CoGéos et EOST).
L'appareil mesure en laboratoire la capacité des roches à conduire la chaleur. Ces mesures permettent de caractériser les roches et participeront à la modélisation du comportement des réservoirs géothermiques.
Une étude systématique sur les roches du site de Soultz-sous-Forêts est en cours, et le nouveau dispositif sera utilisé dans plusieurs projets de recherche et dans le cadre des TP de l'école d'ingénieurs en géophysique à partir de 2018.

H2020 EPOS

Conservation et diffusion des données

www.epos-ip.org

Mise en ligne des données de l'épisode de stimulation de Soultz-sous-Forêts Ouverture du site du CDGP https://cdgp.u-strasbg.fr

En 2017, l'équipe a achevé l'archivage de l'épisode de stimulation de 1993 à Soultz-sous-Forêts : inventaire, récupération des données, mise en format standard, contrôle qualité, description dans des métadonnées, publication des métadonnées et des données. Ces données ont été mises en ligne en décembre.

Elle a poursuivi la collecte bibliographique, transcrit les données sismologiques des CD vers le serveur du CDS (Centre de données sismologiques). Elle a continué la collecte de données patrimoniales de Soultz-sous-Forêts, et réalisé un plan de gestion des données (data management plan). Elle a aussi mis en place un outil de suivi des demandes de données, ainsi qu'un serveur de test, de validation et de production.

La plateforme de distribution des données en géothermie profonde - le site https://cdgp.u-strasbg.fr -, a ainsi pu être ouverte en décembre.

Les conditions générales d'utilisation des données du CDGP ont été définies et des actions de communication réalisées.

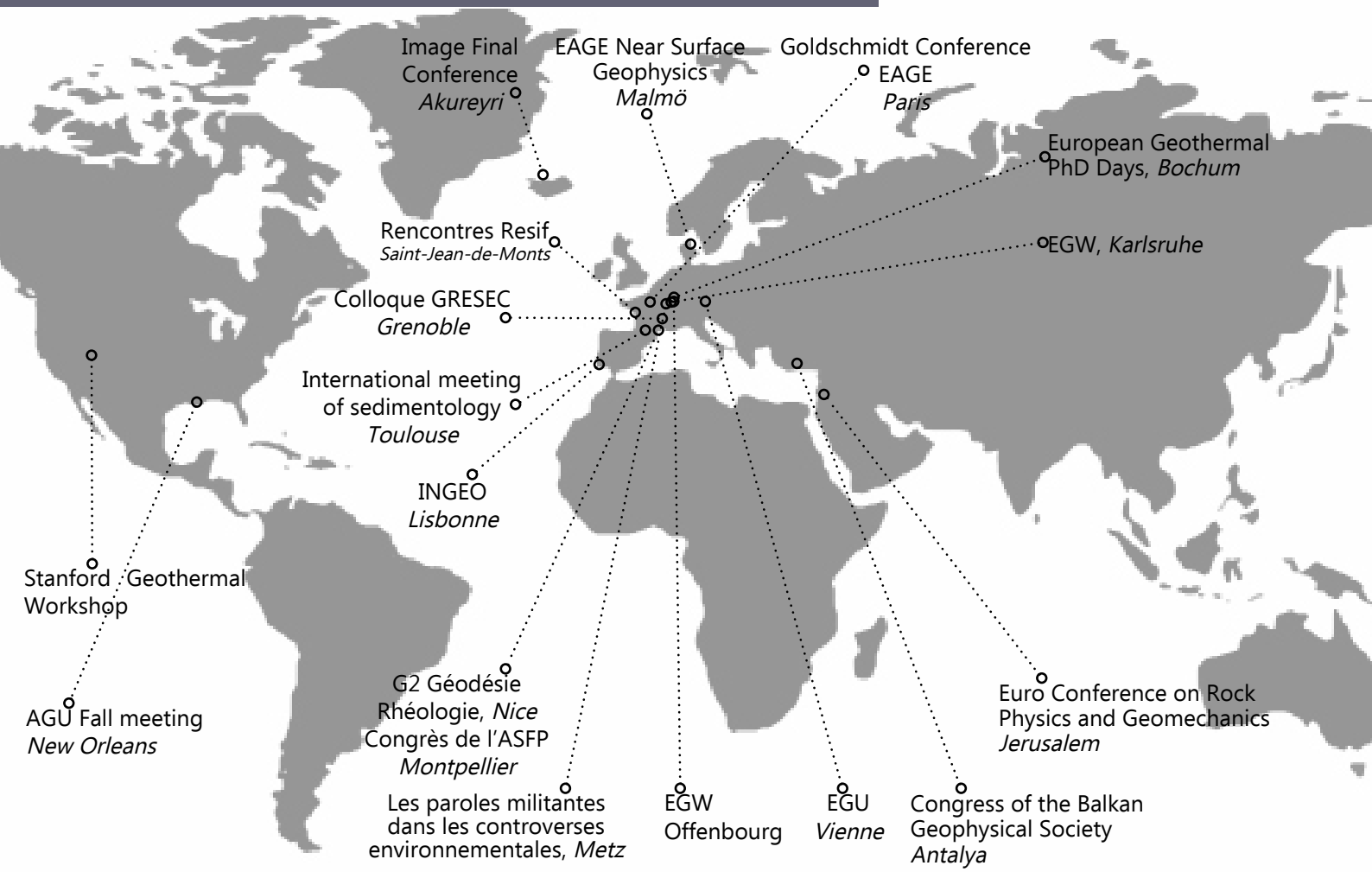
Le travail se poursuit en 2018 : collecte de données patrimoniales de Soultz-sous-Forêts, rapports sur les demandes de données, mise en place du web-service d'interrogation du CDS pour l'obtention des données de sismologie, collecte et distribution des données plus récentes.

La plateforme de distribution des données a été officiellement ouverte en mars 2018, avec la diffusion d'un communiqué de presse.

VALORISATION

En 2017
8 présentations orales et
12 posters à l'EGW 2017
Participation à **18** colloques
47 communications (abstracts)
16 publications

Cette année, les chercheurs impliqués dans le LabEx ont présenté et partagé leurs avancées lors de 18 congrès à travers le monde, dont l'EGW organisé au KIT à Karlsruhe. Le LabEx s'est aussi investi pour la coopération européenne en géothermie profonde.



L'EGW 2017 à Karlsruhe (European Geothermal Workshop)

20 présentations de travaux de recherche liés au LabEx

Organisée par le KIT (Karlsruhe Institute of Technology), cette cinquième édition de l'EGW avait pour thème la caractérisation des systèmes géothermiques profonds. Elle était particulièrement dédiée aux projets européens H2020 DEEPEGS et DESTRESS.

Cette rencontre européenne réunit les chercheurs autour de discussions sur la géothermie profonde (nouvelles méthodes, nouvelles approches, données de terrains…), avec une mise en avant des recherches en cours. Elle propose une plateforme d'échanges scientifiques, notamment entre les chercheurs et les doctorants dans les domaines de l'exploration, de la surveillance, et de la modélisation des réservoirs géothermiques profonds.

La manifestation a accueilli plus de 70 participants, dont une vingtaine de chercheurs et doctorants de l'EOST impliqués dans le LabEx G-eau-thermie Profonde et des scientifiques du monde entier. Les chercheurs et doctorants associés au LabEx ont présenté leurs travaux les plus récents avec 8 présentations orales et 12 posters. En marge de la manifestation, ÉS Géothermie proposait une visite des centrales de Soultz-sous-Forêts et de Rittershoffen.

Colloques et congrès

En 2017, les scientifiques du LabEx ont présenté leurs travaux lors de **18** colloques et congrès internationaux :

- 42th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, 13-15 février, Stanford University, Californie
- European Geothermal PhD Days, 1-3 mars 2017, Bochum, Allemagne
- European Geosciences Union General Assembly (EGU) 2017, 8-13 avril 2017, Vienne
- 79th EAGE Conference and Exhibition, du 11 au 15 juin 2017, Paris
- Congrès de l'ASFP 2017, juillet 2017, Montpellier
- Goldschmidt Conference, Paris, 13-18 août 2017
- 23rd EAGE Near Surface Geophysics, Malmö, Suède, 3-7 septembre 2017
- IMAGE Final Conference, Akureyri, Islande, 4-6 octobre 2017
- 3ème Rencontres Scientifique et Technique RESIF, Saint-Jean-de-Monts, 10-12 octobre 2017
- International Meeting of Sedimentology, 10-12 October 2017, Toulouse, France.
- EGW, KIT, Karlsruhe, 12-13 octobre 2017
- « Information – communication publiques ET espaces publics sociétaux : interactions et tensions », 12-13 octobre 2017, Grenoble
- INGEO International Conference on Engineering Surveying, Lisbonne, Portugal, 18-20 octobre 2017.
- 9th Congress of the Balkan Geophysical Society, Antalya, Turquie, 5-9 novembre 2017
- 12th Euro Conference on Rock Physics and Geomechanics, Jerusalem, 5-10 novembre 2017
- G2 Géodésie – Rhéologie, Nice, 13-15 novembre 2017
- Les paroles militantes dans les controverses environnementales : constructions, légitimations, limites, 22-24 novembre 2017, Metz
- AGU Fall Meeting, New Orleans, USA, 11-15 décembre 2017

Le LabEx rejoint l'EERA, association européenne pour la recherche sur l'énergie

En 2017, le LabEx G-eau-thermie Profonde est devenu membre (par l'Université de Strasbourg) de l'EERA, association européenne pour la recherche sur l'énergie (European Energy Research Alliance). Il participe au programme « Geothermal » (JPGE) qui met en réseau les acteurs académiques de la géothermie profonde. Lors de l'Assemblée Générale en octobre 2017, il a été décidé que l'EGW 2018, organisé par le LabEx, se tiendra à Strasbourg sous l'égide de l'EERA, ce qui donnera une visibilité supplémentaire à l'événement.

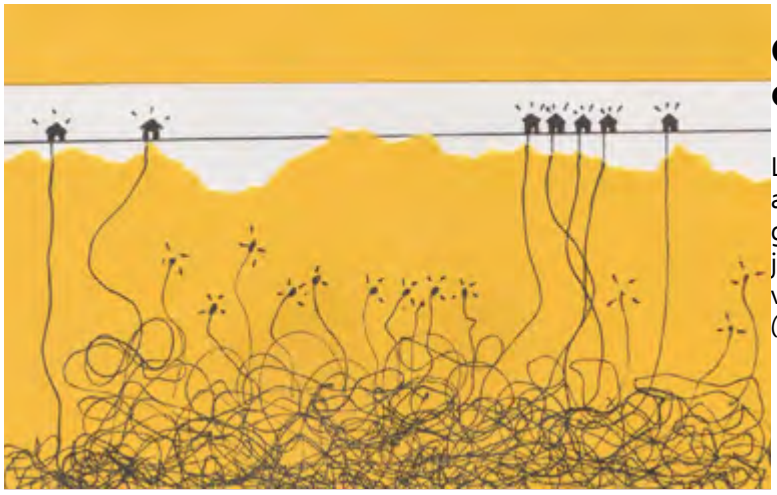
Coopération franco-allemande pour la transition énergétique

En septembre 2017, des membres du LabEx ont participé au Symposium franco-allemand « Earth System Dynamics – New Prospects for bilateral French - German Cooperation in Climate Protection and Energy Transition » (« Dynamique du système terrestre - Nouvelles perspectives pour la coopération franco-allemande en matière de protection du climat et de transition énergétique »), organisé par l'institut de recherche allemand en géosciences GFZ et l'Ambassade de France à Berlin.
50 chercheurs de 20 institutions ont débattu sur la manière dont la France et l'Allemagne peuvent échanger leurs savoirs et savoir-faire pour disposer de synergies d'expertise et de compétences. Jean Schmittbuhl a co-animé un groupe de travail sur la géothermie profonde, avec Philippe Jousset du GFZ, sur la prospective de cette technologie et la coopération franco-allemande dans ce domaine.

2 Cafés LabEx

Les Cafés LabEx visent à favoriser l'échange d'informations et la communication interne au LabEx sur un thème scientifique. Les membres d'un working group sont ainsi invités à présenter leurs travaux.

- septembre : Point d'information sur l'accès, le partage et l'utilisation des données en géothermie profonde
- novembre : La convection hydrothermale sur le site de Soultz-Sous-Forêts



Conférence aux lycéens de Saverne

Le 20 mars 2017, Jean Schmittbuhl a donné une conférence sur « La géothermie profonde en Alsace aujourd'hui », au Lycée Leclerc de Saverne.
(Affiche réalisée par les lycéens de Saverne)

Publications 2017

SISMOLOGIE

Lehujeur M., J. Vergne, A. Maggi & J. Schmittbuhl [2017] Vertical seismic profiling using double-beamforming processing of nonuniform anthropogenic seismic noise: The case study of Rittershoffen, Upper Rhine Graben, France. Geophysics. 82(6).

Lehujeur, M., J. Vergne, A. Maggi, & J. Schmittbuhl [2017] Ambient noise tomography with non-uniform noise sources and low aperture networks: case study of deep geothermal reservoirs in northern Alsace, France. Geophys. J. Int., 208(1)

Lengliné, O., M. Boubacar & J. Schmittbuhl (2017) Seismicity related to the hydraulic stimulation of GRT1, Rittershoffen, France. Geophys J Int., 208(3)

Articles soumis en 2017

Azzola J., J. Schmittbuhl, D. Zigone, F. Masson, V. Magnenet [submitted 2017] Direct modeling of the mechanical strain influence on coda wave interferometry, submitted to Journal of Geophysical Research (under review)

Lehujeur, M., J. Vergne, J. Schmittbuhl, D. Zigone, A. Le Chenadec & the EstOF team [submitted 2017] Reservoir imaging using ambient noise correlation from a dense seismic network submitted to Journal of Geophysical Research (under review)

MAGNÉTOTELLURIE GRAVIMÉTRIE

Abdelfettah, Y., P. Sailhac, E. Schill, E. Larnier, P.-D. Matthey, 2018. Continuous and time-lapse magnetotelluric monitoring of low volume injection at Rittershoffen geothermal project, northern Alsace - France. Geothermics 71, January 2018, Pages 1-11,

Articles soumis en 2017

Portier N., Hinderer J., Riccardi U., Ferhat G., Calvo M., Abdelfettah Y., Bernard J.-D., Hybrid gravimetry monitoring of Soultz-sous-Forêts and Rittershoffen geothermal sites (Alsace, France), soumis à Geothermics le 15 décembre 2017.

Yassine Abdelfettah, Jacques Hinderer, Marta Calvo, Eléonore Dalmais, Vincent Maurer, Albert Genter. Using high accurate land gravity and 3D geological modeling to discriminate potential geothermal areas: Application to the Upper Rhine Graben, France. Soumis à Geophysics.

PHYSIQUE DES ROCHES

Kushnir, A.R.L., Heap, M.J., Baud, P. (2017) Assessing the role of fractures on the permeability of the Permo-Triassic sandstones at the Soultz-sous-Forêts (France) geothermal site; Geothermics, in review.

16 publications

Griffiths, L., O. Lengliné, M. J. Heap, P. Baud, and J. Schmittbuhl, Thermal cracking in Westerly Granite monitored using direct wave velocity, coda wave interferometry and acoustic emissions, Journal of Geophysical Research, in review.

Villeneuve, M. C., M. J. Heap, A. R.L. Kushnir, T. Qin, P. Baud, G. Zhou, and T. Xu, Estimating in-situ rock mass strength and elastic modulus of granite from the Soultz-sous-Forêts geothermal reservoir (France), Geothermal Energy, in review.

Heap, M.J., Kushnir, A.R.L, Gilg, H.A., Wadsworth, F.B., Reuschlé, T., and Baud, P., 2017. Microstructural and petrophysical properties of the Permo-Triassic sandstones (Buntsandstein) from the Soultz-sous-Forêts geothermal site (France), Geothermal Energy, 5:26.

Griffiths, L., Heap, M.J., Baud, P., and Schmittbuhl, J., 2017. Quantification of microcrack characteristics and implications for stiffness and strength of granite, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 100, 138-150.

Violay, M., Heap, M.J., Acosta, M.A., and Madonna, C., 2017. Porosity evolution at the brittle-ductile transition in the continental crust: Implications for deep hydro-geothermal circulation. Nature Scientific Reports, 7, Article Number 7705.

Xu, T., G.L. Zhou, M.J. Heap, W.C. Zhu, C.F. Chen, and P. Baud, 2017. The influence of temperature on time-dependent deformation and failure in granite: A mesoscale modeling approach, Rock Mechanics and Rock Engineering, 50, 2345-2364.

Griffiths, L., Heap, M.J., Xu, T., Chen, C.-f., Baud, P., 2017. The influence of pore geometry and orientation on the strength and stiffness of porous rock, Journal of Structural Geology, 96, 149-160.

GÉOLOGIE

Baujard, C., A. Genter, E. Dalmais, V. Maurer, R. Hehn, R. Rosillette, J. Vidal, and J. Schmittbuhl (2017), Hydrothermal characterization of wells GRT-1 and GRT-2 in Rittershoffen, France: Implications on the understanding of natural flow systems in the rhine graben, Geothermics, 65, 255–268, doi:10.1016/j.geothermics.2016.11.001.

Vidal, J., A. Genter, and F. Chopin (2017), Permeable fracture zones in the hard rocks of the geothermal reservoir at Rittershoffen, France, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, doi:10.1002/2017JB014331.

SCIENCES SOCIALES

Philippe Chavot, Anne Masseran. Controverse publique (sociologie des sciences). Contribution au «Publictionnaire. Dictionnaire encyclopédique et critique des publics»

CENTRE DE DONNÉES

MA Rico (2017) – Bilan d'énergie lors des stimulations et circulations à Soultz-sous-Forêts. Rapport de stage M2, Université de Strasbourg, 47p

Actes de colloques (proceedings)

SISMOLOGIE

Azzola J., B. Valley, J. Schmittbuhl, A. Genter & Hehn (2017) Stress inversion using borehole images and geometry evolution of the fractures in the Rittershoffen EGS project (Alsace, France). European Geophysical Union General Assembly Conference

Azzola J., F. Masson & J. Schmittbuhl (2017) Direct modeling of coda wave interferometry: comparison of numerical and experimental approaches. European Geophysical Union General Assembly Conference

Azzola J., J. Schmittbuhl, D. Zigone, F. Masson &V Magnenet (2017) Direct modeling of coda wave interferometry. Cargese summerschool « Ambient noise imaging and monitoring »

Azzola J., J. Schmittbuhl, D. Zigone, F. Masson &V Magnenet (2017) Direct modeling of coda wave interferometry. American Geophysical Union General Assembly Conference

Azzola J., J. Schmittbuhl, D. Zigone, F. Masson &V Magnenet (2017) Mechanical Strain measurement from Coda Wave Interferometry. 5th European Geothermal Workshop

Cauchie L., O. Lengliné & J. Schmittbuhl (2017) Induced seismicity in EGS reservoir : analysis of persistent multiplets at Soultz-sous-Forêts, France, Seismological Society of America, annual metting

Cauchie L., O. Lengliné & J. Schmittbuhl (2017) Induced seismicity in EGS reservoir : analysis of persistent multiplets at Soultz-sous-Forêts, France, European Geophysical Union General Assembly Conference

Cauchie L., O. Lengliné & J. Schmittbuhl (2017), Investigation of persistent Multiplets at the EGS reservoir of Soultz-Sous-Forêts, France, American Geophysical Union General Assembly Conference

Jestin C., O. Lengliné & J. Schmittbuhl (2017) Radiation efficiency during slow crack propagation: an experimental study. European Geophysical Union General Assembly Conference

Lehujeur, M., J. Vergne, J. Schmittbuhl, A. Maggi, A. Le Chenadec, D. Kula, D. Zigone & the EstOF team [submitted 2017] Ambient seismic noise as a tool for geothermal exploration: Case study of the Soultz-sous-forêts and Rittershoffen sites, France. 5th European Geothermal Workshop

Vergne, J., M. Lehujeur, J. Schmittbuhl, D. Zigone, & A. Le Chenadec (2017), Probing the Crustal Structure Around Deep Geothermal Reservoirs with Ambient Seismic Noise - The ESTOF Pilot Study. 79th EAGE Conférence and exhibition, doi:10.3997/2214-4609.201700741.

MAGNÉTOTELLURIE GRAVIMÉTRIE

Dujardin J-R. and Girard J-F, Cross-hole radar tomography workflow for reservoir analog characterization, 5th European Geothermal Workshop 2017 Karlsruhe

Girard J-F., Jodry C., Porte J., Dujardin J-R., Matthey J-D., Geophysical characterization of the transition between sediment and crystalline rocks at an outcrop in the Vosges, France. 5 th European Geothermal Workshop 2017 Karlsruhe

47 communications

Jodry C., Girard JF., Porte J., Dujardin JR, Matthey JD, Application of Magnetic resonance soundings and ERT measurement to characterize the transition between sediment and crystalline rocks, 23rd EAGE Near Surface Geophysics, Malmö, Sweden

Portier N, Hinderer J, Riccardi U, Ferhat G, Bernard J-D (2017) Hybrid gravity monitoring of Soultz-sous-Forêts and Rittershoffen (Alsace, France) geothermal reservoirs. IMAGE Final Conference, Akureyri, Iceland. 4-6 October 2017

Portier N, Hinderer J, Riccardi U, Ferhat G, Bernard J-D (2017) New results on the gravity monitoring of Soultz-sous-Forêts and Rittershoffen (Alsace, France) geothermal reservoirs. EGW European Geothermal Workshop, Karlsruhe, Germany. 12-13 October 2017

Ferhat G., N. Portier, J. Hinderer, M. Calvo Garcia-Maroto, Y. Abdelfettah & U. Riccardi, (2017). 3 years of monitoring using leveling and hybrid gravimetry applied to the geothermal sites of Soultz-sous-Forêts and Rittershoffen, Rhine Graben, France, INGEO International Conference on Engineering Surveying, Lisbon, Portugal. 18-20 October 2017. ISBN 978-972-49-2300-0

Portier N, Hinderer J, Riccardi U, Ferhat G, Bernard J-D (2017) Suivi par gravimétrie hybride des sites géothermiques de Soultz-sous-Forêts et Rittershoffen. G2 Géodésie – Rhéologie, Nice, France. 13-15 November 2017

Abdelfettah Y., Jacques Hinderer, Marta Calvo, Eléonore Dalmais, Sarah Margueret, Vincent Maurer, Albert Genter, 2017. Using High Accurate Gravity and 3D Geological Modeling in Geothermal Exploration in Northern Alsace, France. Proceeding, European Geothermal Workshop, Karlsruhe, October 12-13, 2017.

Warden, S., P. Sailhac, S. Garambois, 2017. Microseismoelectric monitoring: a new technique to monitor hydraulic stimulation processes. Ext. abstract id42482, EAGE (79th EAGE Conference & Exhibition), 2017, 11-15 June (Paris)

P. Sailhac, H. Larnier, Y. Abdelfettah, S. Warden, P.-D. Matthey. Sensitivity of magnetotelluric monitoring data to geothermal fluids at depth: discussion from actual measurements and models. Ext. abstract id44119. (ORAL), BGS (9th Congress of the Balkan Geophysical Society), 2017, 5-9 Nov (Antalya, Turkey)

PHYSIQUE DES ROCHES

Griffiths, L., O. Lengliné, M. J. Heap, P. Baud, and J. Schmittbuhl, 2017. Combining active and passive acoustic methods to monitor thermal microcracking in the laboratory, 12th Euro Conference on Rock Physics and Geomechanics, Jerusalem, Israel.

Kushnir, A.R.L., Heap, M.J., Baud, P., 2017. A journey through scales: Informing reservoir-scale fracture-controlled permeability using laboratory measurements, 12th Euro Conference on Rock Physics and Geomechanics, Jerusalem, Israel.

Heap, Villeneuve, Kushnir, Baud, and Reuschlé, 2017. The permeability of the Permo-Triassic sandstones (Buntsandstein) from the Soultz-sous-Forêts geothermal site (France), 5th European Geothermal Workshop 2017 Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.

Villeneuve, Heap, Kushnir, Qin, Baud, Zhou, and Xu, 2017. Estimating in-situ rock mass strength and elastic modulus of granite from the Soultz-sous-Forêts geothermal reservoir (France), 5th European Geothermal Workshop 2017 Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.

Violay, Heap, Acosta, and Madonna, 2017. Experimental insights into geothermal resource exploitation in the ductile crust, 5th European Geothermal Workshop 2017 Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.

Heap M., Kushnir A., Gilg H., Wadsworth F., T. Reuschlé, P. Baud, 2017. Matrix permeability of the Permo-Triassic sandstones at the Soultz-sous-Forêts geothermal site (France), 5th European Geothermal Workshop 2017 Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.

Baud, P., Griffiths, L., Heap, M. J., Kushnir, A. R. L., 2017. Impact of fractures on the permeability of the Vosges sandstones, 79th EAGE Conference and Exhibition 2017, Paris, France.

Griffiths, L., M. J. Heap, O. Lengliné, J. Schmittbuhl, and P. Baud, 2017. In-situ changes in the elastic wave velocity of rock with increasing temperature using high-resolution coda wave interferometry, EGU, Vienna, Austria.

Griffiths, L., M. J. Heap, T. Xu, C.-F. Chen, and P. Baud, 2017. Shape matters: pore geometry and orientation influences the strength and stiffness of porous rocks, EGU, Vienna, Austria.

Farquharson, J. I., Baud, P., Wild, B., and Kushnir, A. R. L. (2018) The potential for acid stimulation of a deep geothermal reservoir: an experimental investigation. Geophysical Research Abstracts. Vol. 20, EGU, Vienna (Austria) 2018.

PHYSIQUE DES ROCHES ET HYDROGÉOCHIMIE

Farquharson, J., Kushnir, A.R.L., Baud, P., 2017. Soft-stimulation techniques for geothermal reservoir enhancement: laboratory scale acid stimulation of granite, AGU Fall Meeting, New Orleans, USA.

Farquharson, J. I., Kushnir, A. R. L., Baud, P., 2017. Acid stimulation of deep reservoir rocks: A new experimental setup, 5th European Geothermal Workshop, Karlsruhe, Germany.

HYDROGÉOCHIMIE

Lucas, Y., Ngo, V., Clément, A., Schafer, G., and Fritz, B. (2017) Modeling the acid stimulation in the geothermal system of Soultz-sous-Forêt, EGW, Karlsruhe.

Mombru M, Lemarchand D, Rihs, S. and Haffen S. (2017) Lithium and boron isotopes for a new coupled geothermometer - (Goldschmidt Conference, Paris, France)

GÉOLOGIE

Aichholzer C., Duringer Ph., Orciani S., Genter A. (2017) The complete chrono-lithostratigraphic log of the geothermal well of Rittershoffen, Alsace (GRT-1): an example of cuttings and field analysis in order to establishe a very precise geological log. International Meeting of Sedimentology, 10-12 October 2017, Toulouse, France. Abstract for poster presentation.

Aichholzer C., Duringer Ph., Orciani S., Genter A. (2017) How to establish a very precise chrono-lithostratigraphic log based on cuttings, core samples, gamma ray logs and analogues: application on the Soultz-sous-Forêts and the Rittershoffen geothermal wells (Rhine Graben, France). Image FP-7, 4-6 October 2017, Akureyri, Iceland. Abstract for poster presentation.

Aichholzer C., Duringer Ph., Orciani S., Genter A. (2017) Stratigraphic, sedimentary and structural approach to characterize the cover-basement interface in the Strasbourg area for new geothermal wells. European Geothermal PhD Days, 1-3 March 2017, Bochum, Germany. Abstract for poster presentation.

Vidal, J., P. Patrier Mas, A. Genter, and D. Beaufort (2017), Occurrences of clay minerals in permeable fracture zones in the granitic basement of geothermal wells at Rittershoffen, France, in Proceedings of Forty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, California, USA.

SCIENCES SOCIALES

Philippe Chavot, Anne Masseran, Yeny Serrano, Jean Zoungrana. Penser l'énergie localement ? Le cas de la géothermie profonde dans l'Eurométropole de Strasbourg. Congrès de l'ASFP 2017, Jul 2017, Montpellier, France.

Philippe Chavot, Christine Heimlich, Cyrille Bodin, Anne Masseran, Yeny Serrano, et al.. Town Geothermal Energy and Country Geothermal Energy: making sense of deep geothermal energy in Strasbourg and in the northern Alsace.. 5th European Geothermal Workshop, Oct 2017, Karlsruhe, Germany.

Cyrille Bodin, Philippe Chavot, Anne Masseran, Yeny Serrano, Christine Heimlich, et al.. Les formes d'appropriation de la transition énergétique par le récit territorial municipal : le cas de la géothermie profonde dans la métropole de Strasbourg. Colloque international GRESEC 2017 « Information – communication publiques ET espaces publics sociétaux : interactions et tensions », Oct 2017, Grenoble, France.

Philippe Chavot, Anne Masseran, Yeny Serrano, Cyrille Bodin, Christine Heimlich, et al.. « Nimby » et fier de l'être : identité, étiquette et visions du territoire. Le cas de la controverse autour de la géothermie profonde dans l'Eurométropole de Strasbourg. Les paroles militantes dans les controverses environnementales : constructions, légitimations, limites, Nov 2017, Metz, France.

CENTRE DE DONNÉES

Kwiatek, G., Blanke, A., Olszewska, D., Orlecka-Sikora, B., Lasocki, S., Kozlovskaya, E., Nevalainen, J., Schmittbuhl, J., Grasso, J.-R., Schaming, M., Bigarre, P., Kinscher, J., Saccorotti, G., Garcia, A., Cassidy, N., Toon, S., Mutke, G., Sterzel, M., Szepieniec, T., 2017 - Integrating anthropogenic hazard data to facilitate research related to the exploitation of geo-resources, poster présenté à l'EGU2017, EGU2017-5262.

A. Frémand, M. Schaming, T. Mochel, N. Cuenot, E. Dalmais, J.-F. Girard, M. Grunberg, J. Schmittbuhl (2017) - The CDGP, data center for deep geothermal energy in Alsace. Poster présenté à EGW2017, Karlsruhe, 12-13 oct. 2017.

A. Fremand, M. Schaming, 2017 – présentation du Centre de Données de Géothermie Profonde : procédures d'ingestion, de découverte et de distribution des données. Café LabEx, EOST, 29 sept. 2017

A. Frémand, 2017 – EPOS-TCS-AH : une plateforme pour la recherche sur le risque Anthropique. Café LabEx, EOST, 29 sept. 2017

FORMATION

Du master au post-doctorat, le LabEx G-eau-thermie Profonde a participé à la formation des futurs ingénieurs et des futurs chercheurs : accueil et financement de stragiaires, financement et encadrement de thèses et de post-doctorats, tenue du module de géothermie pour les élèves ingénieurs de l'EOST et encadrement de la deuxième promotion du DU gestion de projets en géothermie profonde.

Diplôme Universitaire Gestion de projet en géothermie profonde

En 2017, le Diplôme Universitaire Gestion de projet en géothermie profonde **a recruté sa deuxième promotion.** Ce nouveau diplôme, porté par l'Université de Strasbourg, dans le cadre d'un partenariat entre l'ENGEES, ES-Géothermie et l'EOST a ouvert en mai 2016. Il s'adresse à des ingénieurs et techniciens souhaitant intervenir dans le cadre d'un projet dans le domaine de la géothermie ou se perfectionner, ainsi qu'à des jeunes diplômés (licences professionnelles, masters ou ingénieurs).

Quatre nouvelles personnes ont été diplômées cette année, en juillet 2017, après 150 h de formation en alternance en trois mois et leur soutenance. L'organisation de la formation en comité restreint a favorisé les échanges avec le corps enseignant, constitué de professionnels d'ES Géothermie et de chercheurs de l'EOST et de l'ENGEES. Les participants ont travaillé sur des études de cas concrets et étudié les techniques, la réglementation, le suivi opérationnel, le business plan et la conduite de projet.

Module Géothermie à l'EOST, journée d'étude sur le terrain le 2 novembre 2017 : visite et présentation du Musée du pétrole, des centrales de Soultz-sous-Forêts et Rittershoffen)

Formation des futurs ingénieurs

- **Le module Géothermie à l'EOST**
  Le LabEx intervient également dans la formation des élèves ingénieurs et des étudiants en master 2 de l'EOST. Le module Géothermie représente 25h de cours et **fait intervenir 8 personnes du LabEx,** dont des enseignants-chercheurs de l'EOST et des professionnels d'ÉS Géothermie.

- **5 stagiaires** ont été accueillis et formés par les équipes du Labex en 2016, dont :
  - 3 ont participé à des projets LabEx et Cogéos
  - Et 2 aux programmes de recherche H2020 Destress, Ademe EGS Alsace

En 2017
12 doctorants
9 post-doctorants
1 Diplôme Universitaire
1 module Géothermie profonde
5 stagiaires accueillis

Formation des futurs chercheurs

12 doctorants effectuent leur thèse en 2017 dans les équipes du LabEx :

Jeanne Vidal, 2014-2017, Ressources géothermiques à l'interface couverture sédimentaire socle dans le fossé Rhénan » (cofinancement Labex IA et Ademe)

Luke Griffiths, 2015-2018, Thermal microcraking in rock (cofinancement Labex IA et Université de Strasbourg)

Bérénice Vallier, 2015-2018, La modélisation thermo-hydro-mécanique de l'exploitation d'un réservoir géothermique profond dans le fossé rhénan (financement Ademe EGS Alsace)

Camille Jestin, 2015-2018, Modélisation analogique du glissement sur les failles (financement du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche)

Nolwenn Portier, 2016-2019, Suivi temporel d'un réservoir géothermique par gravimétrie hybride et magnétotellurie : Application aux sites de Soultz-sous-Forêts et Rittershoffen en Alsace (France) et aux sites de Krafla et Theistareykir en Islande (cofinancement Labex IA et Région)

Coralie Aichholzer , 2016-2019, Modalités stratigraphiques, sédimentaires et structurales de la transition couverture-socle dans le fossé rhénan. Application à la géothermie (cofinancement Labex IA et Université de Strasbourg)

Jérôme Azzola, 2016-2019, Suivi géophysique non-conventionnel des réservoirs géothermiques profonds (H2020 Destress)

Rike Köpke, 2017-2020, Localisation de la sismicité induite à Rittershoffen (cofinancement Labex IA et KIT)

Eric Henrion, 2017-2019, Suivi géodésique des réservoirs souterrains (cofinancement ÉS et Storengy)

Damian Kula, 2017-2020, Suivi des réservoirs à partir du bruit sismique ambiant (cofinancement ÉS et Storengy)

Alexandra Renouard, 2017-2020, Etude sismologique du Nord-Est de la France : caractérisation des structures actives et contraintes sur l'aléa sismique (cofinancement Labex IA et Ministère)

Carole Glaas, 2017-2020, Perméabilité des réservoirs géothermiques profonds fracturés, altérations hydrothermales et logs électriques (bourse CIFRE, en partenariat avec ÉS Géothermie)

9 post-doctorants

Yassine Abdelfettah, 2016-2017, Mise en place d'une méthodologie couplée magnétotéllurie-gravimètrie appliquée à l'étude des réservoirs géothermiques (cofinancement LabEx, ÉS, Cogéos)

Christine Heimlich, 2017, Etude sociologique de terrain et analyse des médias (H2020 Destress)

Jessica Murray, 2017-2018, Etude des processus thermo-hydro-géochimiques de génération de l'hydrogène dans le contexte hydrothermal du fossé rhénan (Total)

Alexandra Kushnir, 2016-2018, Mesures des propriétés physiques des roches du site de Soultz-Sous-Forêts aux conditions in situ (ANR Cantare)

Jamie Farquharson, 2016-2018, Expériences en laboratoire de stimulation chimique d'un réservoir géothermique (H2020 Destress)

Maximilien Lehujeur, 2017, Projet de recherche EstOf (CoGeoS Prestations)

Cyrille Bodin, 2017-2019, Perception publique de la géothermie profonde en Alsace (analyse des médias, études des publics) (H2020 Destress)

Clio Bosia, 2017, Analyse minéralogique et isotopique d'échantillons de roches (Ringelbach et Strengbach) (LabE IA)

Lena Cauchie, 2016-2018, Analyse des séismes induits lors de la stimulation de réservoirs géothermiques (Ademe EGS Alsace)

PERSPECTIVES

Le LabEx G-eau-thermie Profonde, créé intialement pour une durée de 8 ans, a été prologné d'un an jusqu'en 2020. L'appel à projet pour la prolongation des LabEx sera ouvert en 2019.
Dans l'attente, d'autres pistes sont amorcées et réfléchies pour perpétuer et développer les actions engagées, en se basant sur les acquis et les compétences rassemblées.

Préparer l'avenir

Réponse à l'appel à projets « Ecole universitaire de recherche » de l'ANR

Durant l'été 2017, l'équipe de direction et les chercheurs du LabEx se sont investis dans le montage d'un projet, baptisé Renewable Underground Energies of the Earth (RUEE) pour répondre à l'appel à projets « Ecole universitaire de recherche » de l'Agence nationale de la recherche (ANR).
L'objectif scientifique global était d'élargir les savoir-faire acquis en géothermie profonde à d'autres énergies renouvelables du sous-sol.
Même si le projet RUEE n'a pas été retenu, il a permis aux équipes de nourrir une réflexion prospective et stratégique (renforcement du lien formation-recherche, partenariats, visibilité, gouvernance...)

Ouverture à d'autres partenariats et thématiques

Si 2015 a été l'année d'initiation des grands projets de recherche adossés au LabEx (H2020 Destress, Epos, ANR Cantare...), 2017 a vu se concrétiser deux nouveaux partenariats industriels. Le premier, avec Storengy/Engie vise l'application des techniques développées à l'EOST avec le soutien du LabEx, pour le suivi des réservoirs sousterrains, en l'occurrence de gaz naturel. Deux thèses ont démarré en 2017 et sont financées dans ce cadre (Eric Henrion, lire page 48, et Damian Kula).
Le deuxième, avec Total, vise l'étude de la génération d'hydrogène naturel dans les réservoirs géothermiques du fossé rhénan.
Ces projets marquent une ouverture partenariale et thématique, générée par l'intéret d'industriels pour les recherches menées au sein du LabEx. Une réflexion que les acteurs du LabEx poursuivent.

Quatre grands projets LabEx pour 2018-2019 : sismicité citoyenne, microsonde XRF, plateforme sismologique Densar et Centre de données en géothermie profonde

Faisant suite aux appels à projets annuels menés depuis 2014, le Labex G-eau-thermie Profonde a identifié quatre grands projets à fort potentiel pour la recherche. Ils s'inscrivent dans la continuité des activités menées par le LabEx depuis ses débuts. Ces grands projets émanent des groupes de travail et ont été retenus par le Comité de pilotage. Il seront financés dans le cadre des Investissements d'avenir par le LabEx G-eau-thermie Profonde, et du CoGéos par ÉS. Ils seront menés en 2018-2019.

Développement d'un réseau de sismicité citoyenne (Sismologie et sciences sociales)

Ce projet pluridisciplinaire de sismologie citoyenne consiste en l'installation d'un sismographe à bas coût chez une soixantaine de particuliers répartis sur quatre zones d'intérêt. Il va permettre de tester un concept novateur visant à intégrer les citoyens à l'observation des phénomènes sismologiques. Ces sismographes opérés par des particuliers permettent de densifier le maillage encore très lacunaire des réseaux d'observations institutionnels et ainsi d'aider à la détection et la caractérisation de la micro-sismicité d'origine naturelle et induite et d'étudier le risque sismique associé. Parallèlement, il s'agira d'observer et analyser les effets d'un engagement citoyen dans la recherche scientifique, sur la perception et les représentations de la sismologie et des phénomènes de micro-sismicité.

Acquisition d'une microsonde XRF (Géologie)

Le spectromètre caractérise des échantillons en les analysant par microfluorescence à rayons X (Micro-XRF). Venant compléter l'équipement analytique des laboratoires de l'EOST, il permettra d'établir la cartographie chimique des échantillons de roches pour l'étude de la paragenèse (association de minéraux dans une roche donnée), dans le but d'étudier l'impact des circulations de fluides à l'interface entre le granite altéré et les grès de Buntsandstein. De plus, il permettra des analyses in situ précises pour le suivi des échanges chimiques entre les sédiments et le granite sous-jacent.

Mise en place de la plateforme DENSAR (DENse Seismic ARray) (Sismologie)

DENSAR est un ensemble de 100 stations sismologiques miniaturisées optimisées pour l'imagerie et la surveillance des propriétés et dynamiques de la croûte superficielle. Il fournira une visibilité et une attractivité nationales et internationales majeures pour l'IPGS et l'Université de Strasbourg.

Contrairement aux autres équipements sismiques, ces stations sont faciles et rapides à installer permettant un déploiement rapide de réseaux sismiques temporaires denses et flexibles. Elles conduisent à de nouvelles méthodologies pour la recherche fondamentale et à des fins industrielles.

L'équipe étudiera en particulier l'imagerie et la surveillance des réservoirs profonds dans le cadre de la Chaire industrielle de géothermie profonde et des partenariats existants avec ES-Géothermie et Engie-Storengy. Ce réseau devrait conduire à de nouvelles collaborations et partenariats industriels.

Dernière phase du Centre de données en géothermie profonde (CDGP)

Le Centre de données de géothermie profonde (CDGP) a pour missions de collecter, décrire, préserver, distribuer les données des différents projets de géothermie en Alsace, dans le respect des droits de propriété intellectuelle. Le CDGP fournit également des données au projet EPOS-IP via le TCS Anthropogenic Hazard. Les dernières années ont permis de mettre en place l'infrastructure nécessaire à ces missions : les procédures, méthodes et outils sont désormais opérationnels. Les données d'un premier épisode de stimulation (1993 – Soultz-sous-Forêts) ont été mises en ligne sur la plateforme de distribution. Il s'agit maintenant de poursuivre l'ingestion, la description et la mise en ligne des données patrimoniales des autres épisodes de Soultz-Sous-Forêts, et de prendre en compte des données plus récentes. Il s'agit également de consolider le lien avec EPOS-IP via le TCS Anthropogenic Hazard ainsi qu'avec les autres centres de données de l'EOST.

ENTRETIENS

Eric Henrion, doctorant à l'IPGS, dont la thèse est menée en partenariat avec ÉS Géothermie et Storengy, expose ses travaux sur le suivi géodésique des réservoirs profonds. Quentin Satgé, manager projet recruté en juiillet 2017 présente son parcours, ses missions et ses projets.

Entretien avec Eric Henrion

Doctorant à l'IPGS
(Institut de physique
du globe de Strasbourg)

Quel a été votre parcours avant la thèse ?
Après mon BTS de géomètre-topographe à Nancy, j'ai intégré la formation d'ingénieur de l'École Supérieure des Géomètres et Topographes au Mans. J'ai réalisé mon stage de fin d'études à l'EOST en 2013 sur des calculs de positionnement GPS haute-fréquence appliqués à l'étude de séismes. J'ai enchaîné avec un CDD, toujours sur le traitement de données GPS de réseaux permanents situés dans le Fossé Rhénan, avec publication des résultats sur le site de l'EOST. Ce travail m'a amené à commencer une thèse en janvier 2017, sous la direction de Frédéric Masson.

Votre thèse porte sur le suivi géodésique de réservoirs souterrains. Pouvez-vous nous expliquer les enjeux et l'objectif ?
Ma thèse est cofinancée par Storengy et ÉS Géothermie et se fait en partenariat avec le Labex G-eau-thermie Profonde. L'objectif est le suivi des déformations de surface à l'aplomb de réservoirs souterrains : ceux de Soultz-sous-Forêts et Rittershoffen, exploités par ÉS en géothermie profonde, et ceux de stockage de gaz naturel en cavités salines à Tersanne et Hauterives dans la Drôme qui appartiennent à Storengy. Cette étude résulte d'une obligation légale des industriels de remettre un rapport de suivi à la DREAL .
L'objectif est de mettre au point une méthodologie pour tirer le meilleur des données géodésiques spatiales, obtenues par deux méthodes de positionnement complémentaires : l'interférométrie radar (InSAR) et le GPS.

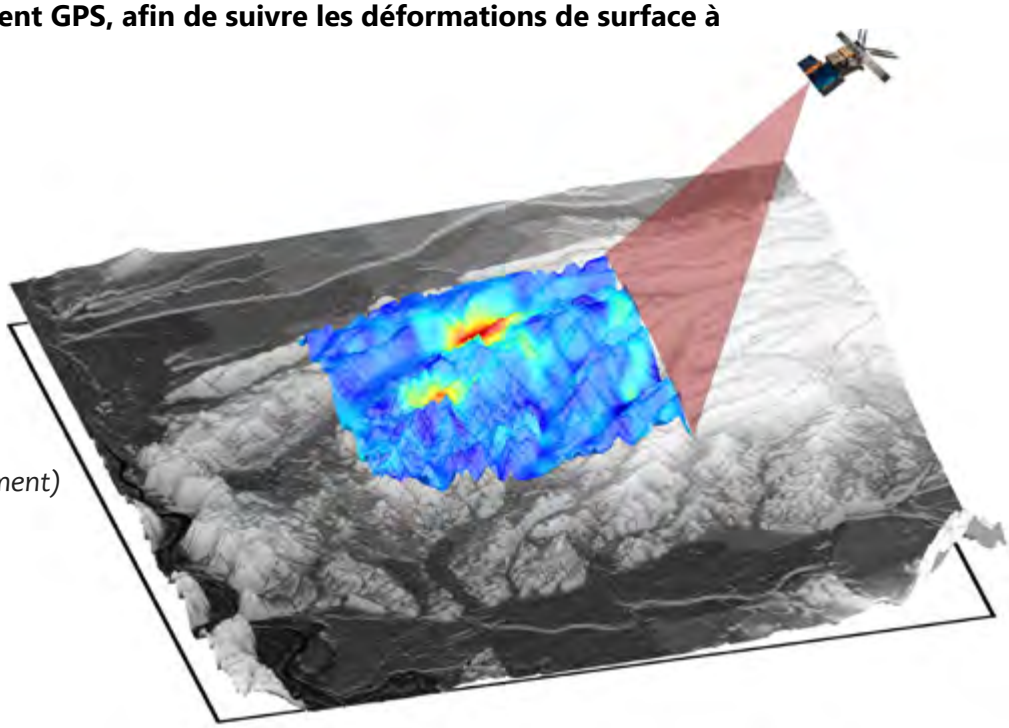
Les deux industriels ont chacun leurs attentes. ÉS Géothermie désire un suivi en temps réel de ses sites. L'objectif de l'optimisation est de trouver un compromis entre rapidité de calcul et précision des résultats, afin de pouvoir être réactif en cas de problème. Concernant les réservoirs de gaz, Storengy souhaite une quantification précise des mouvements de surface et des erreurs associées. Depuis les années 80, les réservoirs étaient suivis par mesures terrestres de nivellement qui présentaient plusieurs contraintes (campagnes de mesures réalisées tous les 3 ans, personnels de l'IGN mandatés présents sur le site d'exploitation, coût). La géodésie spatiale permet de s'affranchir de ces contraintes.

Pourquoi ces deux méthodes sont-elles complémentaires ?
Le positionnement GPS donne une meilleure couverture temporelle : nous obtenons une mesure par jour depuis l'installation des stations sur les réservoirs. L'imagerie radar donne une meilleure couverture spatiale, mais elle est dépendante du passage du satellite au-dessus du réservoir dont le délai peut varier de 6 à 35 jours selon le satellite.

Recherche

Imagerie radar et positionnement GPS pour le suivi de réservoirs souterrains

Eric Henrion, 27 ans, a débuté sa thèse en 2017 sur le suivi de réservoirs souterrains (géothermiques et de stockage de gaz naturel) par géodésie spatiale, en partenariat avec deux industriels, ÉS Géothermie et Storengy. Il met au point une méthodologie pour optimiser la combinaison de deux techniques, l'interférométrie radar et le positionnement GPS, afin de suivre les déformations de surface à l'aplomb des réservoirs.



Mesure de subsidence (affaissement) à l'aplomb d'un réservoir de stockage de gaz naturel par interférométrie radar

Par ailleurs, l'InSAR quantifie mieux les mouvements verticaux, et le GPS, les mouvements horizontaux.
Concernant l'interférométrie radar, l'Agence spatiale uropéenne (ESA) a lancé en 2014 et 2016 deux satellites, Sentinel-1a et b, qui parcourent la Terre à 6 jours d'intervalle. Depuis avril 2016, nous pouvons donc avoir une mesure tous les 6 jours avec des images disponibles gratuitement sur demande. Cela représente une grande opportunité car jusqu'ici les intervalles entre deux acquisitions étaient plus longs et les images étaient souvent payantes. Ma thèse coïncide parfaitement avec l'arrivée de ces satellites.

Quels travaux avez-vous déjà effectués pendant cette première année de thèse ?
Une grande partie de mon travail a porté sur la centrale géothermique de Landau en Allemagne qui a connu un accident d'exploitation en 2013. L'objectif était de me former à l'InSAR, de caractériser spatialement et temporellement les déformations liées à l'accident et de simuler un traitement automatique avec détection de mouvements anormaux, à partir des données d'archive TerraSAR-X. Il s'agira ensuite d'appliquer ce suivi temps réel aux réservoirs d'ÉS Géothermie.
Le monde industriel a les yeux sur cet important volume de données généré par la constellation Sentinel-1 qui permet de suivre des réservoirs et d'autres types de chantiers.

Et quels sont ceux que vous allez mener au cours des deux prochaines années ?
Je vais consacrer les prochains mois à l'exploitation d'archives d'images radar appliquée aux réservoirs de stockage de gaz naturel appartenant à Storengy, et les données de positionnement GPS. Puis je traiterai les données radar Sentinel-1 pour l'ensemble des réservoirs ÉS-G et Storengy. L'objectif suivant sera de faire cohabiter ces deux méthodes de positionnement et de comparer et valider les résultats. Dans un dernier temps, j'étudierai la gestion des flux de données (stockage, optimisation du volume de données pendant les traitements...) car le traitement InSAR demande beaucoup de mémoire.

Qu'est-ce qui vous plaît, vous motive dans ce sujet ?
Ces méthodes de positionnement et le travail au contact des industriels m'ont toujours plu. La constellation Sentinel-1 ouvre de grandes possibilités, nous n'en sommes qu'au début. C'est passionnant cette possibilité de suivi à distance avec des systèmes d'acquisition situés à 20 000 km au-dessus de nos têtes pour le positionnement GPS, et 700 km pour l'imagerie radar, sans la nécessité d'une équipe en permanence sur le terrain. Me former à ces techniques pendant trois ans est une chance, que j'aimerais appliquer dans le monde industriel par la suite.

Entretien avec Quentin Satgé
Manager projets,
Chaire industrielle de géothermie profonde

Organisation

« Être le relais en temps réel, le roulement »

Recruté en juillet 2017, Quentin Satgé, 29 ans, ingénieur projets, assure le suivi administratif, budgétaire et juridique des projets et la coordination des acteurs académiques de la Chaire industrielle de géothermie profonde, sous la direction de Jean Schmittbuhl.

Quel a été votre parcours avant d'arriver au LabEx G-eau-thermie Profonde ?
Je suis ingénieur en agro-développement, diplômé de l'ISTOM (École supérieure d'agro-développement international) en 2012. Une formation d'ingénieur généraliste avec un accent mis sur l'international et sur le montage et le pilotage de projets dans les pays en voie de développement. J'ai réalisé mes stages à l'étranger, en Equateur, au Congo et au Chili, sur des problématiques de développement agricole ou environnementales (modélisation hydrologique au Chili). En dernière année, j'ai suivi l'orientation « Territoire, risques et aménagement », par intérêt pour les enjeux de développement durable, de gestion des ressources naturelles et l'aménagement du territoire.
C'est ce qui m'a permis de réaliser un VIE (volontariat international en entreprise) de 18 mois au Chili, en 2015 et 2016, dans une petite entreprise d'ingénierie du traitement des eaux. Je me suis aussi impliqué personnellement dans la start-up d'un ami pour le développement commercial d'un procédé de valorisation des déchets par pyrogazéification.

Qu'est-ce qui vous a plu dans le poste et vous a amené à postuler ?
Il a éveillé ma curiosité intellectuelle et professionnelle. Je connaissais mal la géothermie profonde et c'est un secteur que je pense porteur, avec l'enjeu de transition énergétique. La connexion entre recherche et industrie m'a aussi beaucoup attiré, elle rejoint mon affection pour l'innovation. J'ai aussi été séduit par l'envergure des projets.
Etudiant, mon ambition était de gérer des projets innovants, qui améliorent un système ou une situation, pour que chacun y trouve son intérêt : la société, l'agriculteur ou l'entreprise, l'environnement.

En tant que manager projets, quelles sont vos missions ?
Ma première mission est d'articuler au mieux les relations entre les différentes parties prenantes : chercheurs, équipe de direction, services administratifs, partenaires…
La deuxième est le suivi budgétaire, financier, juridique et administratif des projets et des contrats en cours. In fine, j'essaie d'être le relais en temps réel pour les équipes de la situation générale du LabEx et des projets hébergés par la Chaire.
En somme, mon objectif est d'être capable de maîtriser chaque contrat avec ses spécificités et de restituer une information de qualité aux acteurs impliqués en fonction des besoins.

Quels sont vos projets ?
A court terme, progresser, être plus efficace dans ma mission de manière à être le roulement de la machine. Et à plus long terme, développer une réelle expertise afin de répondre aux problèmes et besoins des acteurs.

Quels enjeux pour le LabEx et pour la Chaire à l'avenir, d'après vous ?
C'est une question complexe, et je ne suis là que depuis juillet 2017, ma vision reste encore superficielle. Mais je pense que le contexte est historiquement favorable à la géothermie, avec la particularité du fossé rhénan et le débat entourant la Centrale de Fessenheim. Le LabEx et la Chaire ont l'opportunité de se placer comme expert et acteur privilégié sur cette question de transition énergétique, à un niveau régional, national et international. En particulier avec la technologie EGS, pour laquelle ils sont une référence. Tout ceci en restant connecté à la réalité industrielle.

D'un point de vue personnel, vous êtes un passionné de montagne et de sport en plein air ?
Oui, je suis né à Chambéry. Je pratique le ski depuis que j'ai 3 ans et l'escalade depuis mes 5 ans. Et puis la voile. J'ai appris à marcher en descendant d'un bateau, me dit-on !

Directeur de la publication : J. Schmittbuhl
Mise en page : S. Robert
Réalisation : S. Robert, J.Schmittbuhl, Q. Satgé, les responsables des projets scientifiques et des groupes de travail
Crédits photos : EGU/Foto Pfluegl - blogs.egu.eu, page 16
Impression : Imprimerie de l'Université de Strasbourg
©LabEx G-eau-thermie Profonde

En couverture :
Imagerie 3D du sous-sol obtenue par analyse du bruit sismique ambiant, une méthode développée par les chercheurs impliqués dans le LabEx (voir page 19). Les traits verticaux représentent les forages de Soultz-sous-Forêts et de Rittershoffen. A la surface, les stations sismiques du réseau Estof sont représentées par des points. Les zones jaunes sont celles où les ondes s'y propagent plus lentement. Ce qui indique des domaines plus chauds ou plus riches en fluide, c'est-à-dire les endroits potentiellement les plus intéressants des réservoirs géothermiques.

Au dos : Nolwenn Portier, doctorante à l'IPGS (Institut de physique du globe), laboratoire de l'EOST, effectue des mesures gravimétriques sur un site géothermique islandais, dans le cadre d'un projet LabEx (voir page 21)

LabEx G-eau-thermie Profonde
EOST
5 rue René Descartes
F-67084 Strasbourg
labex-geothermie.unistra.fr
labex-geothermie@unistra.fr