

La séquence sismique de Strasbourg (2019-2022), une crise pour l'eost

Frédéric Masson

Jean Schmittbuhl, Jérôme Vergne,

EOST – ITES,

BCSF-RéNaSS,

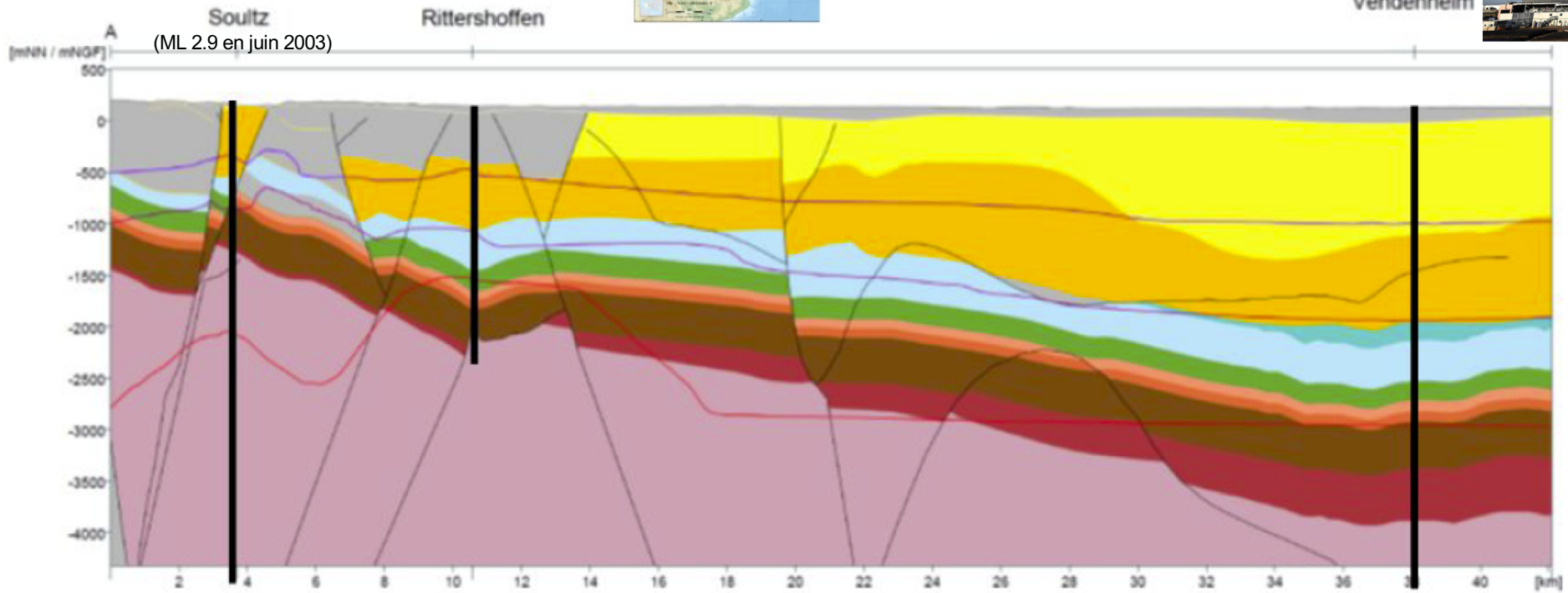
LabEx G-Eau-Thermie profonde (maintenant ITI GeoT)

Université de Strasbourg/CNRS

Plan

- **La crise sismique**
- Les acteurs
- Les leçons

Contexte : la géothermie

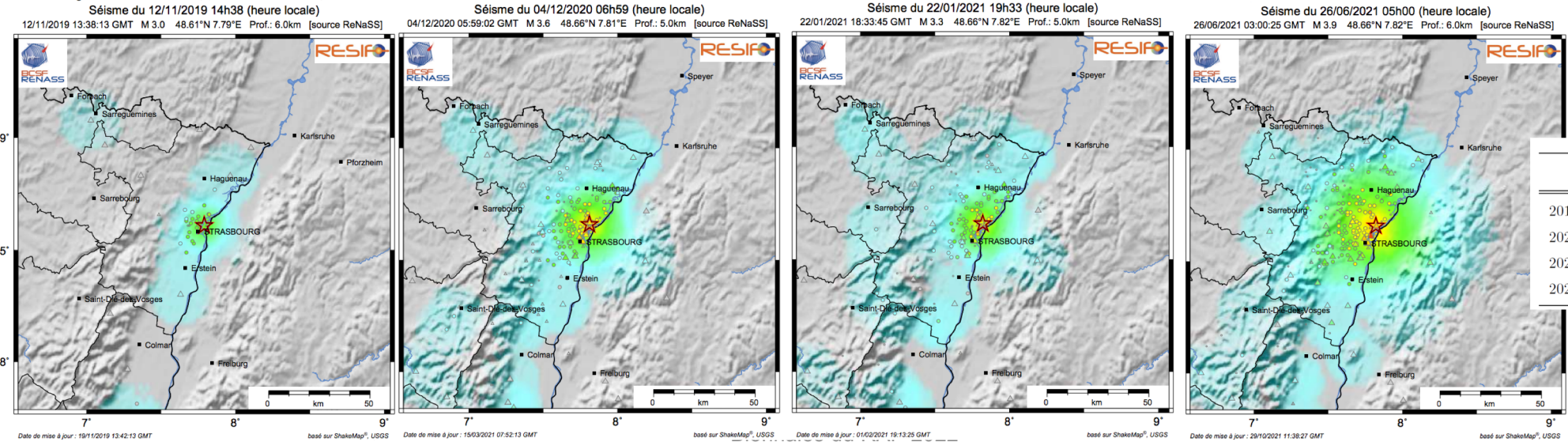




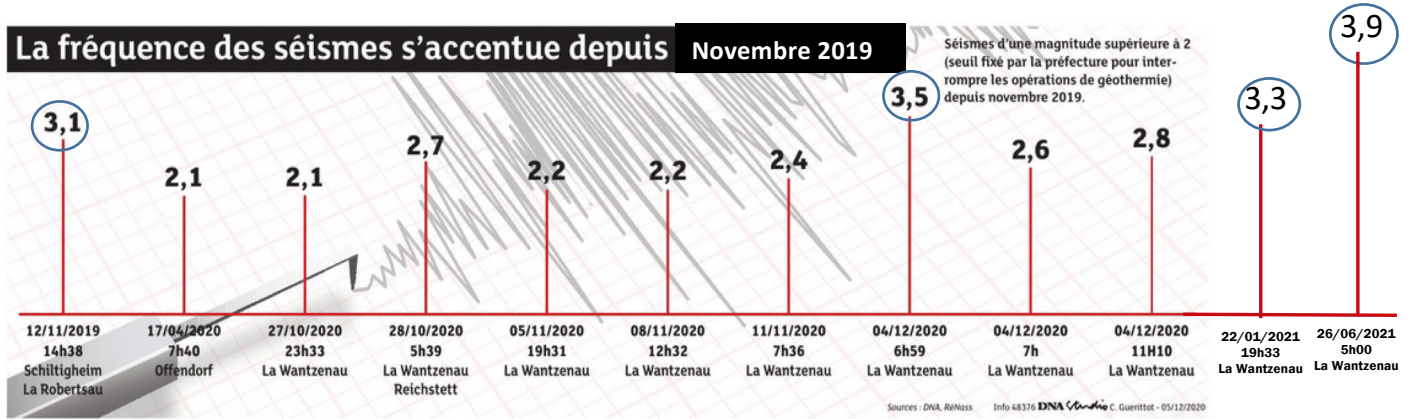
Intensités EMS98	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
Dégâts potentiels bâtiments vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	quelques effondrements partiels	nombreux effondrements partiels	nombreux effondrements partiels	effondrements généralisés
Dégâts potentiels bâtiments peu vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	effondrements partiels	nombreux effondrements
Perception humaine	aucune	très faible	faible	modérée	forte	brutale	très brutale	sévère	violente	extrême

Type d'observation	
Contribue au calcul	Ne contribue pas au calcul
△	○
Intensité issue d'une conversion à partir du PGA / PGV (donnée instrumentale) Conversion PGA, PGV / intensité basée sur Caprio et al. (2015)	

Estimation régionale de la secousse (à partir des données macrosismiques et instrumentales)



La fréquence des séismes s'accroît depuis Novembre 2019

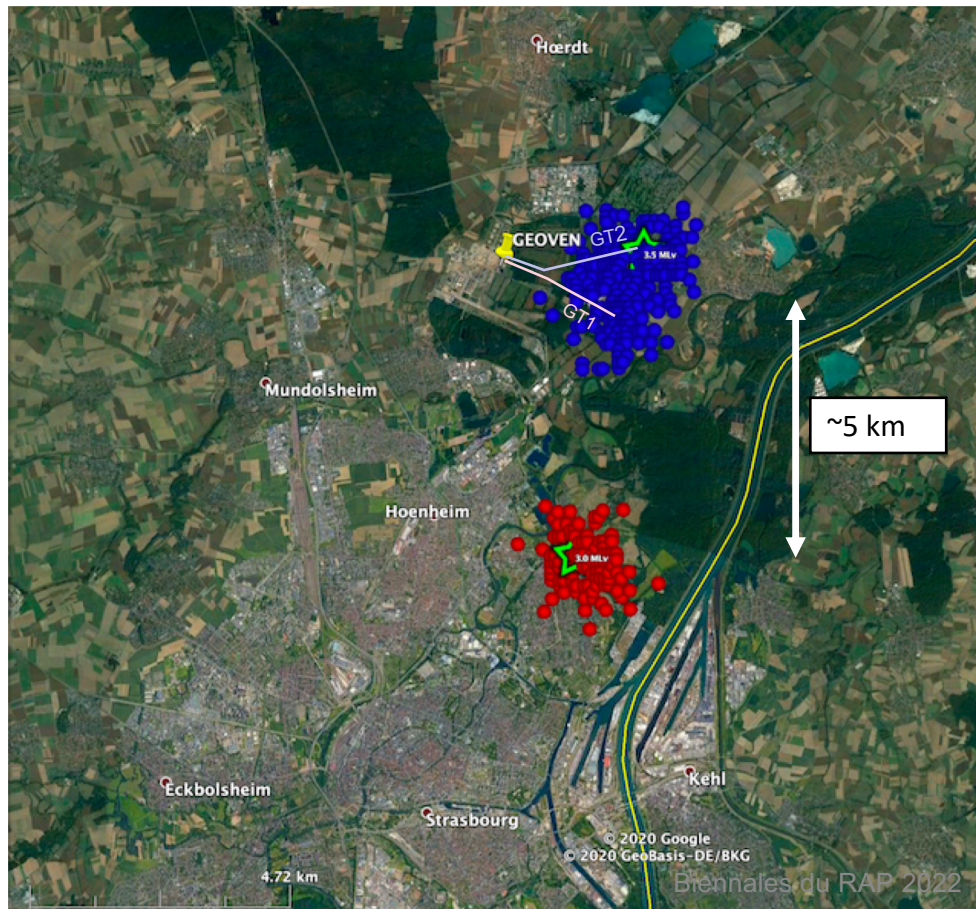


Séismes d'une magnitude supérieure à 2 (seuil fixé par la préfecture pour interrompre les opérations de géothermie) depuis novembre 2019.

Sources : DNA, ReNass, Info 48376 DNA, C. Guertillot - 05/12/2020

<https://www.franceseisme.fr/>

Séquence sismique de Strasbourg



Northern cluster Wells GT1 and GT2 – Vendenheim/Wantzenau

Activity : March 2018 – Feb. 2022

Catalog BCSF-RéNaSS :

- **3** eq $M > 3$ (Mlv 3.9 on 26/6/2021;
Mlv 3.6 on 4/12/2020; Mlv 3.3 on 22/1/2021)



11 eq $2 < M < 3$
23 eq $1.5 < M < 2$
309 eq $M < 1.5$

Southern cluster Strasbourg/Roberstau

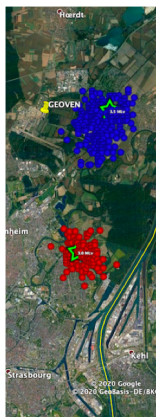
Activity : Nov. 2019 – Apr. 2020

Catalog BCSF-RéNaSS :

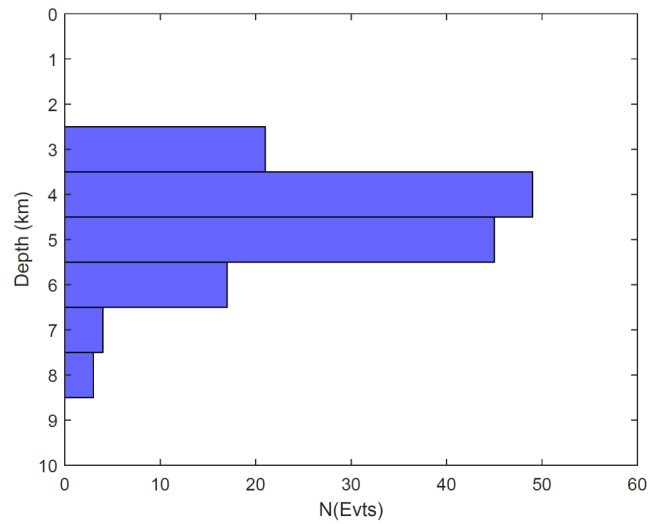
- **1** eq $M > 3$ (MI 3.0 on 12/11/2019)
- **3** eq $2 < M < 3$
- **17** eq $1.5 < M < 2$
- **105** eq $M < 1.5$



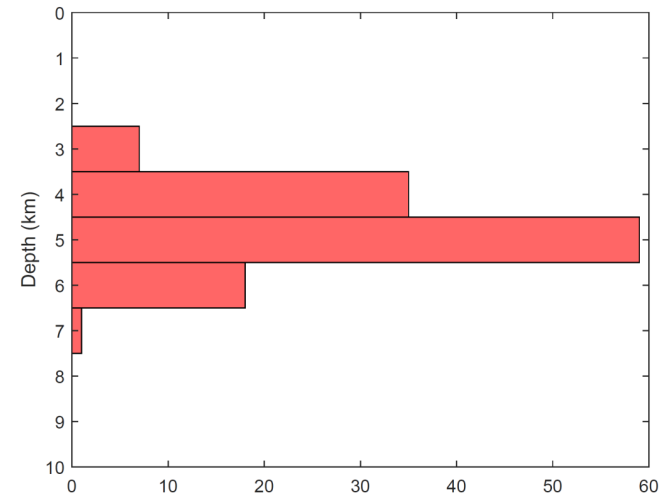
Distribution des profondeurs



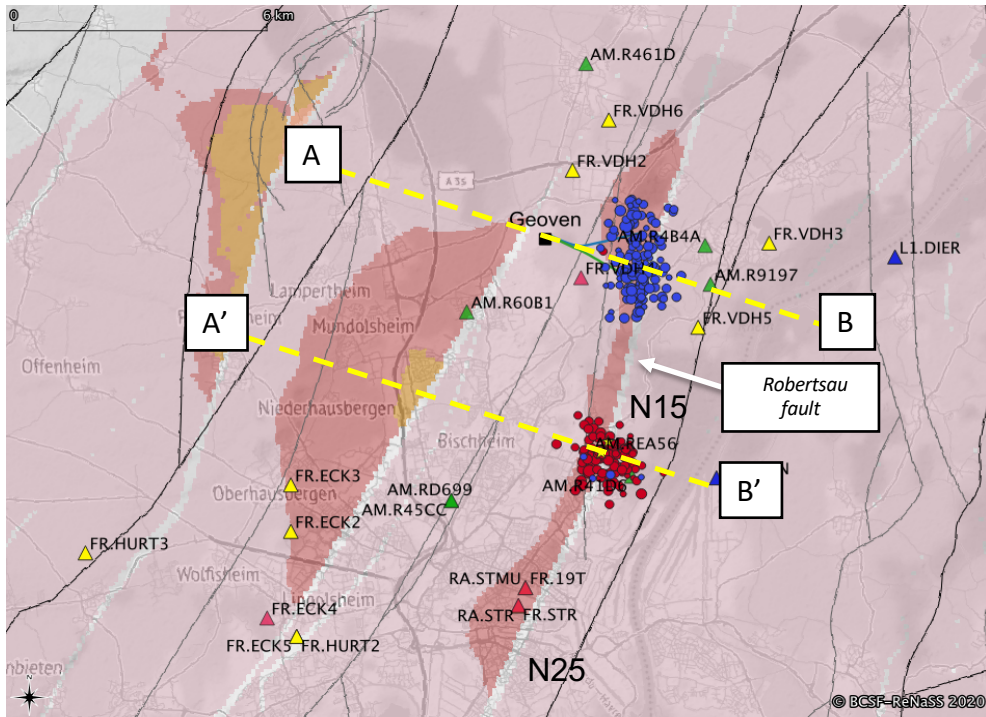
Northern swarm



Southern swarm

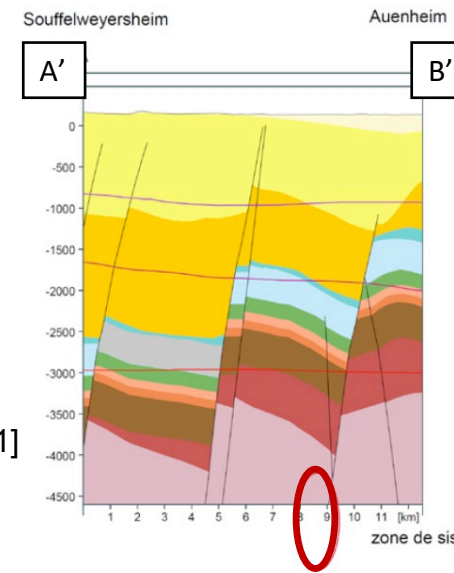
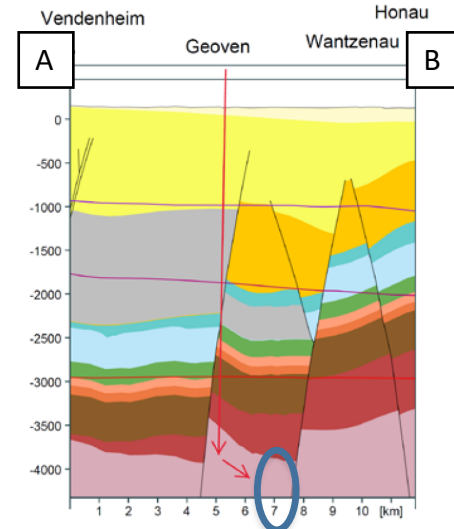


Geological context



Geological map at a depth of 4000m

[Schmittbuhl et al, 2021]





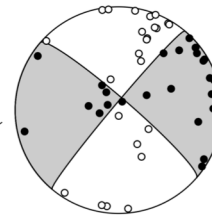
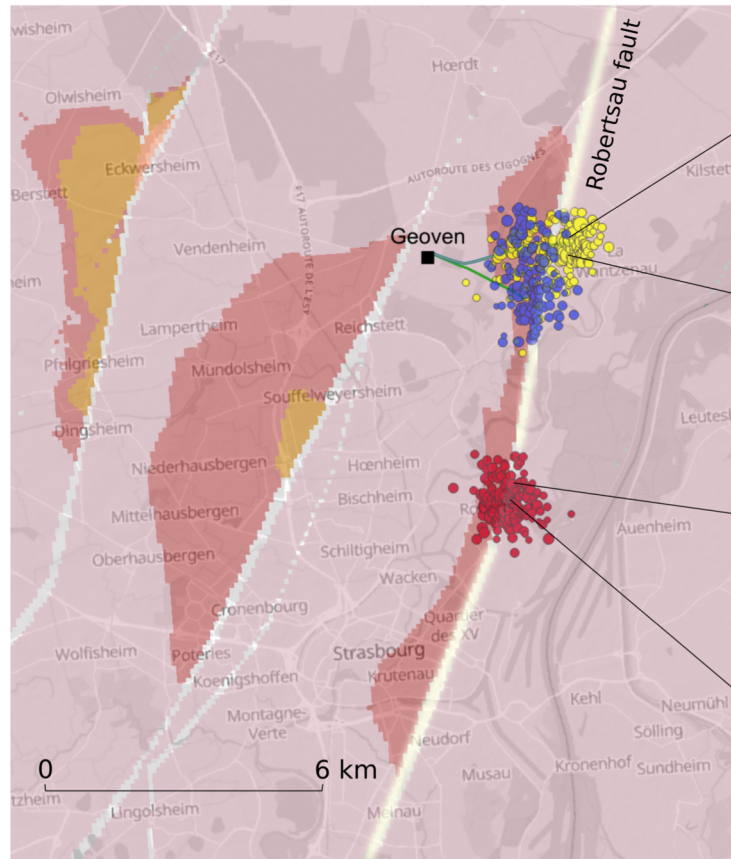
École et observatoire

des sciences de la Terre

de l'Université de Strasbourg

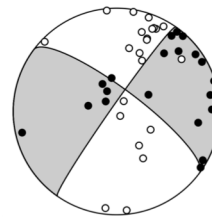
et du 

Focal mechanisms



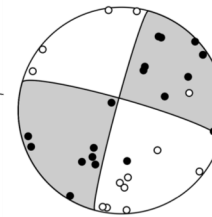
2020-12-04 05:59:02
 48.6630 7.8130
 depth : 5.4
 mag : 3.6

Strike	Dip	Rake
220	85	-10
± 3	± 8	± 15



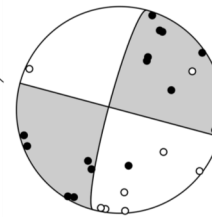
2021-01-22 18:33:45
 48.6640 7.8162
 depth : 5.2
 mag : 3.3

Strike	Dip	Rake
215	85	-20
± 3	± 8	± 10



2019-11-12 13:38:13
 48.6137 7.7900
 depth : 5.3
 mag : 3.0

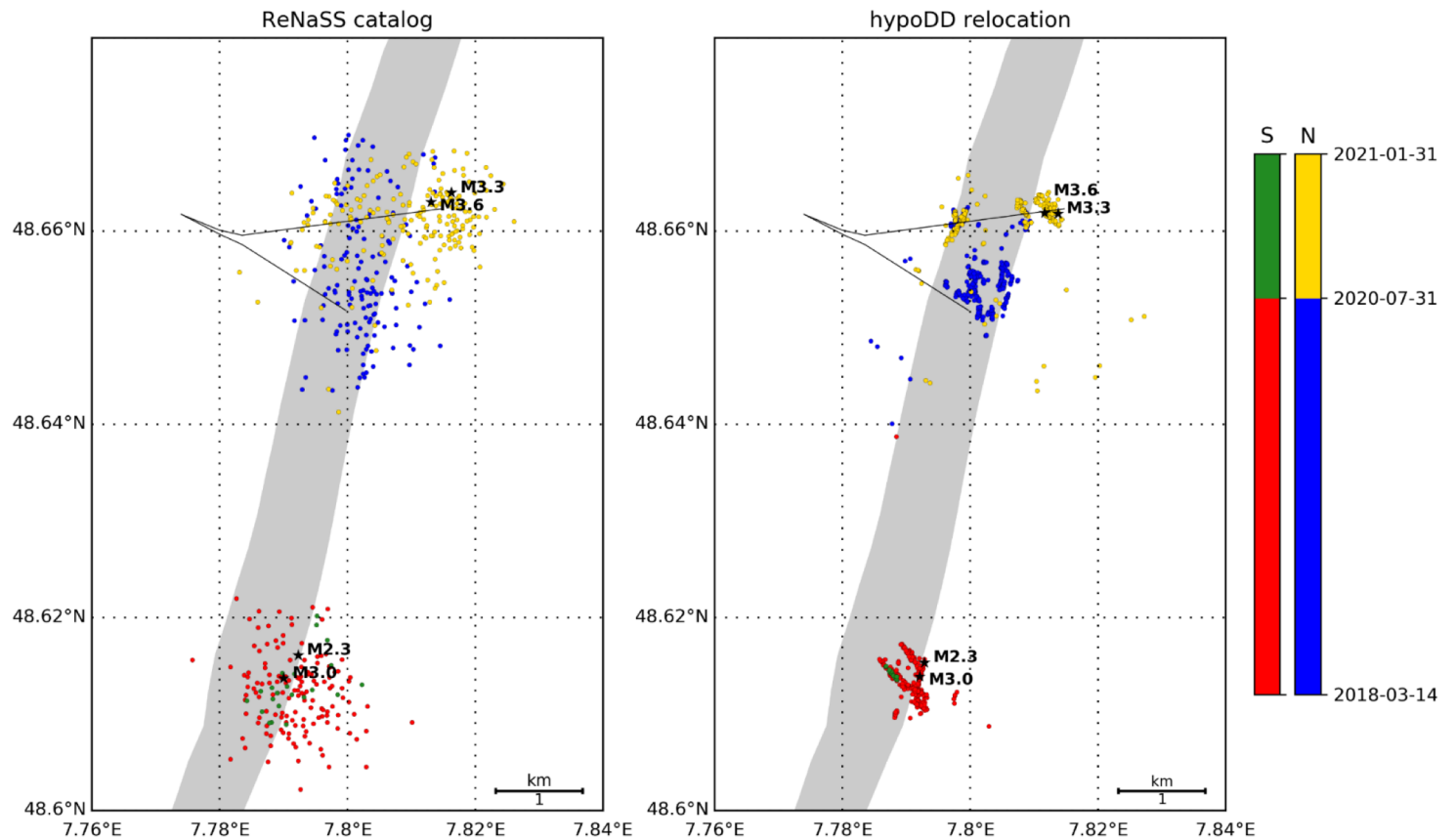
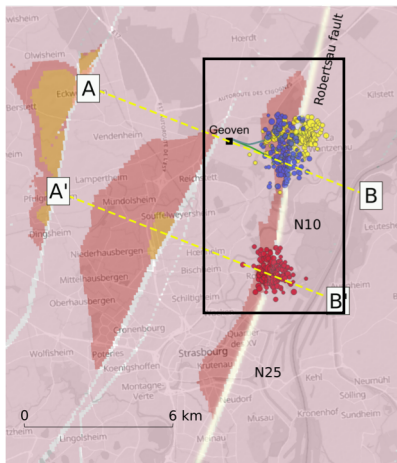
Strike	Dip	Rake
195	85	-10
± 3	± 8	± 5



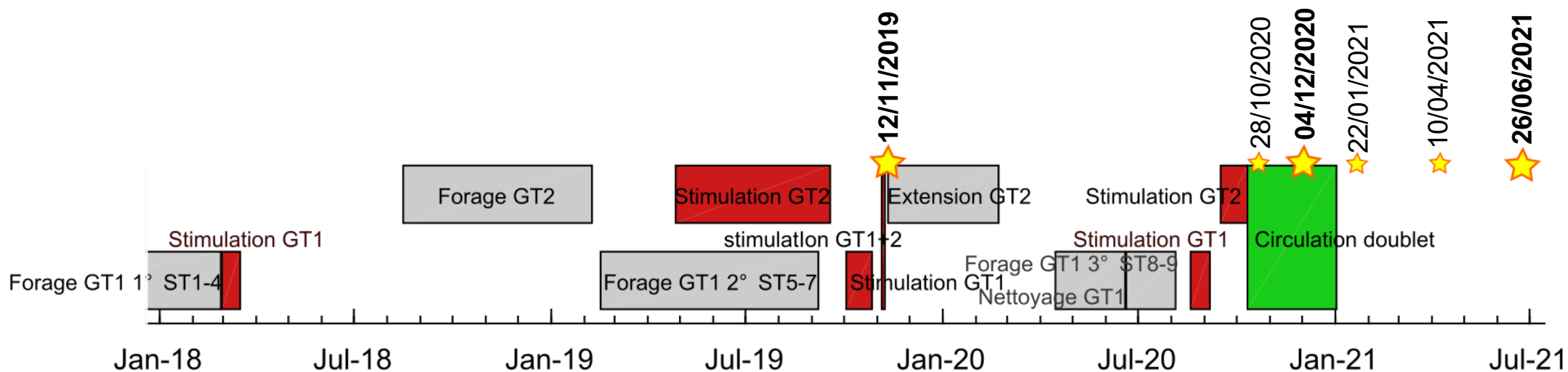
2019-11-13 22:42:40
 48.6161 7.7923
 depth : 4.3
 mag : 2.3

Strike	Dip	Rake
285	90	-170
± 3	± 10	± 10

Template matching + HypoDD relocations



Historique des opérations sur le site

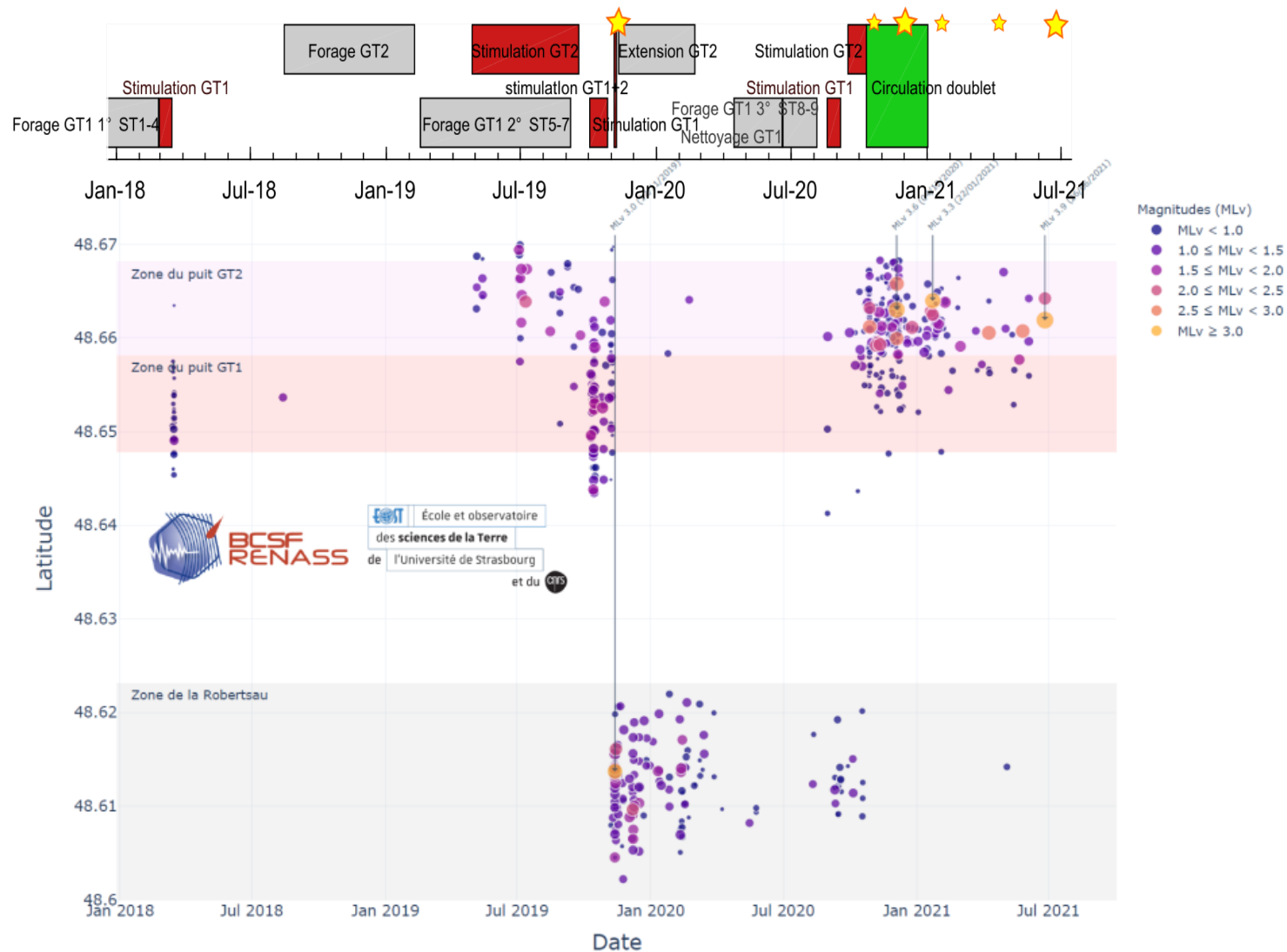


Rapport Phase 1 du CE créé en appui à l'administration sur la boucle géothermique GEOVEN - 26 Avril 2022 - Préfecture du Bas-Rhin, France



Northern cluster

Southern cluster



Plan

- La crise sismique
- **Les acteurs**
- Les leçons

- **L'Eost**

- Formation
- Observation dont BCSF-Rénass
- Recherche
 - Laboratoire
 - Labex (maintenant ITI)

ACCUEIL

EOST ▾

ÉCOLE D'INGÉNIEURS ▾

LICENCE, MASTER ▾

RECHERCHE ▾

OBSERVATOIRE ▾

• Le BCSF-Rénass

SNO CNRS-UnivStrasbourg



 Avez vous ressenti un séisme ?

 Trouvez un évènement

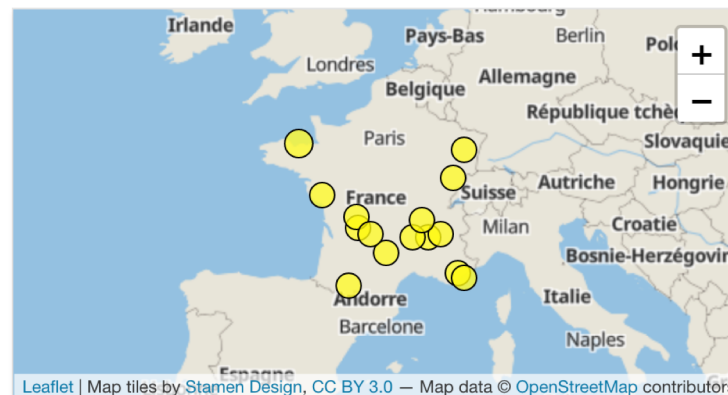
 Contact

 À propos

Bienvenue sur le site national d'information sur la sismicité de la France.

Il informe sur les événements sismiques localisés en France, ou à proximité, à partir des enregistrements des stations de surveillance du Réseau sismologique et géodésique français [Résisif-Epos](#), de stations de projets de recherche ou de surveillance, de stations des réseaux des pays frontaliers (Allemagne, Royaume-Uni, Belgique, Espagne, Italie, Luxembourg, Suisse) et de stations des réseaux mondiaux.

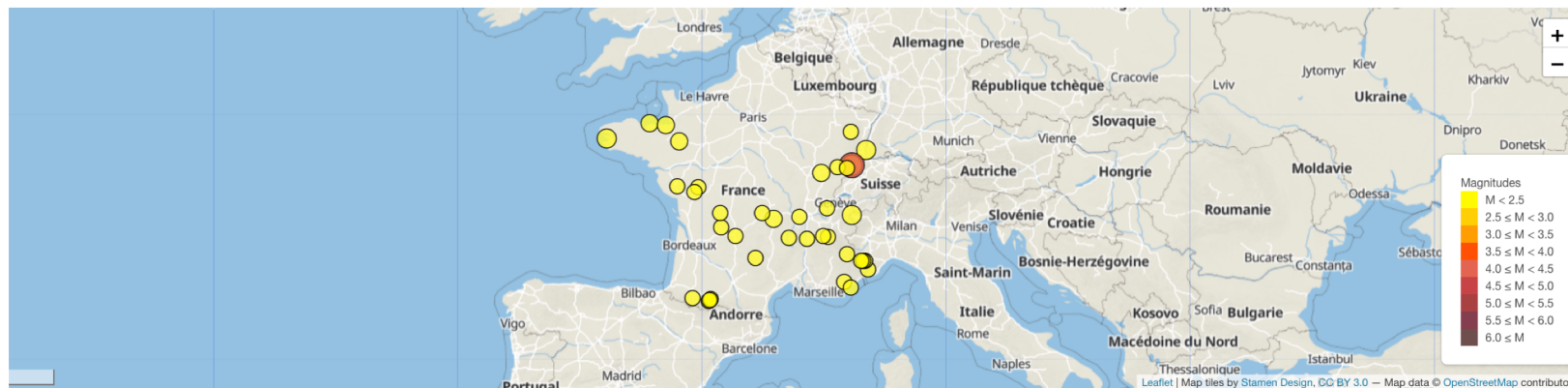
Les listes des événements sismiques survenus en France hexagonale, à Mayotte, aux Antilles françaises, à La Réunion ou à proximité des ces zones, ainsi que la liste des événements sismiques mondiaux majeurs, sont accessibles via les liens ci-contre.



France hexagonale

• Le BCSF-Rénass

SNO CNRS-UnivStrasbourg



[Accueil](#) / [France hexagonale](#)

Événements automatiques en attente de validation Validé

Les heures affichées correspondent aux heures locales des évènements.

Jeudi 23 mars 2023

- [?](#) 07:26 Évènement de magnitude 2.6, proche de Belfort
- [?](#) 06:31 Évènement de magnitude 1.6, proche de Nice
- [?](#) 04:33 Évènement de magnitude 2.5, proche de Belfort
- [?](#) 02:32 Évènement de magnitude 1.7, proche de Gap

Mercredi 22 mars 2023

- [?](#) 22:08 Évènement de magnitude 2.3, proche de Mulhouse
- [?](#) 21:54 Évènement de magnitude 2.3, proche de Aosta
- [?](#) 21:53 Évènement de magnitude 2.8, proche de Belfort
- 16:57 Tremblement de terre de magnitude 0.4, proche de Pau
- 15:50 Tremblement de terre de magnitude 4.2, proche de Belfort
- 15:29 Tremblement de terre de magnitude 0.5, proche de Saint-Martin

France hexagonale

Cette page liste les derniers évènements sismiques survenus en France hexagonale ou à proximité. Les stations de surveillance du Réseau sismologique et géodésique français [Résif-Epos](#) et les stations des réseaux des pays frontaliers (Allemagne, Royaume-Uni, Belgique, Espagne, Italie, Luxembourg, Suisse) enregistrent en continu les secousses et transmettent les mesures en temps réel vers le BCSF-Rénass.

Tous les évènements sont d'abord détectés et localisés automatiquement avant de faire l'objet d'une analyse par un opérateur qui détermine, notamment, leur origine sismique ou anthropique (par exemple les tirs de carrière ou les explosions).

Les données du catalogue de sismicité sont en accès libre sous licence CC BY 4.0.



Sismicité de la France hexagonale

Carte représentant la sismicité instrumentale de la France hexagonale de 1962 à 2021.

[Télécharger](#)

[Voir](#)

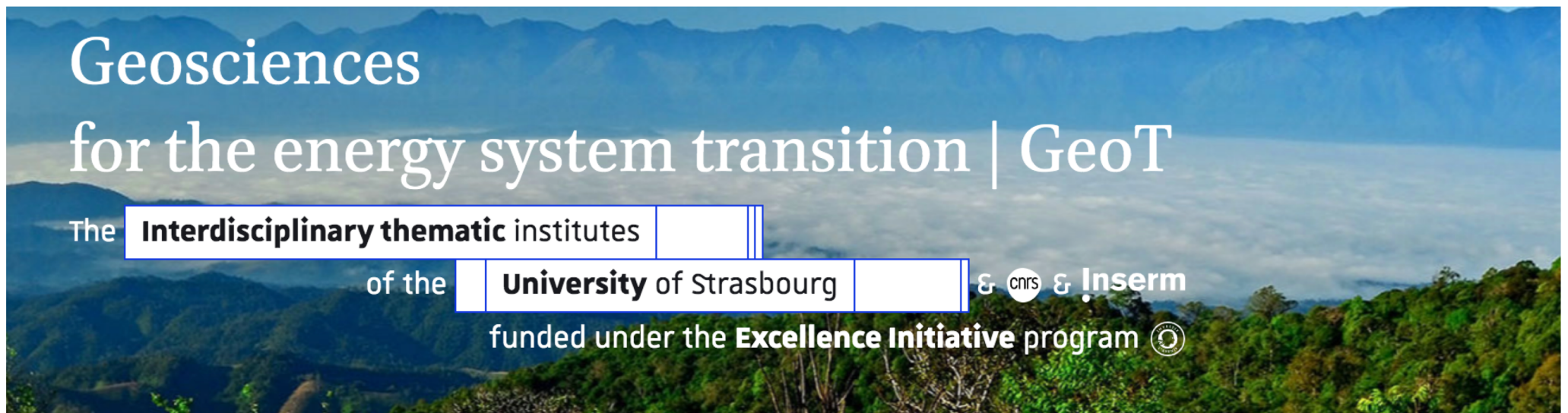
- Le laboratoire de recherche



 Institut **Terre & Environnement**
de **Strasbourg** | ITES | UMR 7063
de l'**Université** de Strasbourg
& **CNRS** & **ENGES**

 [Contact](#)

- Le labex devenu ITI



S'appuie sur les 4 piliers de l'Eost :
Recherche, Observation, Formation, Médiation scientifique

- Les industriels



Acteur historique de la géothermie profonde en Alsace :

- Soultz sous Forêts
- Rittershoffen
- Au moment de la crise, un site en développement au sud de Strasbourg

Une relation très forte avec l'Eost :

- Historique : surveillance sismique, recherche, personnel formé à l'Eost
- Renforcée par l'accord Cogeos sur 10 ans

- Les industriels



Acteur récent en Alsace, et ailleurs.

Une relation faible avec l'Eost.

- Les industriels



Progressivement une relation plus difficile car

- une mise en garde sur une communication beaucoup trop rassurante (maîtrise de la sismicité)
- Pour ES une insatisfaction sur la recherche effectuée, trop amont

Suite à la crise, exclusion de l'AFPG...



- Les services de l'Etat



DREAL Grand Est

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

Une relation récente avec le Rénass :

- intégration de l'observation sismique des sites géothermiques par le Rénass
=> Sur chaque site une station sismologique et une station GNSS publique, en plus de leur réseau de surveillance sismique propre
- Rôle du Rénass en cas de crise : revisiter la sismicité en incluant les données des industriels pour une meilleur vision de la crise

• Les collectivités territoriales

Strasbourg.eu
eurometropole

Changement de majorité aux élections de 2020

LA GÉOTHERMIE PROFONDE SUR L'EUROMÉTROPOLE DE STRASBOURG

La géothermie profonde est l'un des éléments clé de la Transition Énergétique de notre territoire. Une source d'énergie renouvelable, stable et à prix maîtrisé.

Suite au séisme du 4 décembre 2020 enregistré à une magnitude de 3.59 sur l'échelle de Richter, la Préfète du Grand Est et du Bas-Rhin a pris un arrêté d'arrêt définitif du projet géothermique de Vendenheim. Cet arrêté prévoit concrètement l'arrêt définitif des activités de forages géothermiques, de stimulation hydraulique des puits et des tests de la société Fonroche Géothermie sur le site de Vendenheim. Par sécurité, la mise à l'arrêt de la circulation d'eau entre le puit producteur et le puit injecteur est réalisé par pallier et de manière progressive en termes de m³ d'eau et de pression, sous la supervision de la DREAL. L'intensité de ce séisme étant inattendue, une enquête administrative conduite par la DREAL a été diligentée par la Préfète pour en déterminer les causes et les responsabilités. Ses conclusions devraient être connues d'ici la fin de l'année 2020.

Sur les trois autres projets en cours à proximité de Strasbourg, l'ensemble de ces projets seront analysés à partir des préconisations d'un comité d'experts de niveau national et international sous l'égide du Ministère de la Transition écologique et solidaire.

Ce comité d'experts aura pour missions d'apporter des conseils, de faire état des connaissances scientifiques en matière de géothermie et de faire un état des lieux précis des conditions de réalisations de chacun des projets.

Retrouvez toutes les réponses aux questions dans [la foire aux questions](#).

QU'EST-CE QUE C'EST ?

La géothermie profonde est une source d'énergie renouvelable, constante, non polluante et avec un prix attractif désindexé des combustibles fossiles.

Alors que la géothermie "peu profonde ou de surface" est très commune, la géothermie profonde est limitée à quelques régions dont le sous-sol présente des caractéristiques particulières. C'est le cas de l'Alsace, située dans le fossé rhénan où il existe en sous-sol un potentiel d'eau chaude exceptionnel. Il s'agit par conséquent d'une réelle opportunité écologique et énergétique pour notre territoire, permettant de produire une énergie locale, propre, inépuisable et à bas coût.

L'eau s'infiltré dans les entrailles chaudes de la terre et s'y réchauffe. Elle circule au travers des failles existantes constituant ainsi un vaste réservoir souterrain d'eau chaude. Cette eau peut remonter naturellement en surface et constituer des sources chaudes utilisées à toutes les époques. Aujourd'hui, des techniques existent pour extraire cette eau chaude pour les besoins de l'industrie et les besoins en chauffage des villes

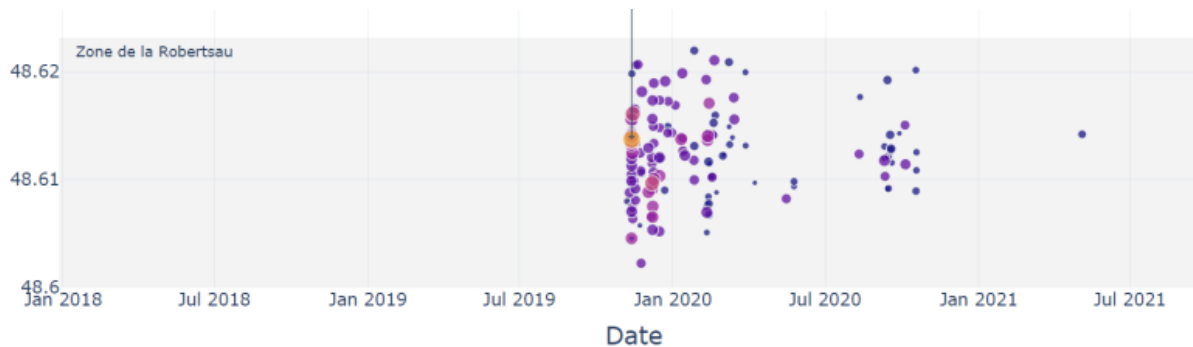


LE RÔLE DE L'EUROMÉTROPOLE DE STRASBOURG

En 2010, l'Eurométropole de Strasbourg a commandité des études afin de connaître le potentiel d'énergies renouvelables sur son territoire. Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et les sociétés ES Géothermie et Fonroche ont notamment effectué des études sur la géothermie profonde. Ces études ont mis en évidence un potentiel géothermique de premier ordre sur le territoire de l'Eurométropole de

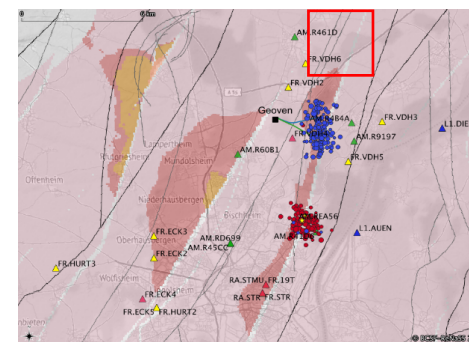
Plan

- La crise sismique
- Les acteurs
- **Les leçons**



Cluster sud : A 5 km des forages

Robertsau – Nov 2019





École et observatoire

des sciences de la Terre

de l'Université de Strasbourg

et du CNRS

Le séisme du Teil du 11 novembre 2019

8/11/2022

VOTRE RÉGION

ARDÈCHE ET DRÔME Les experts du groupe d'intervention macrosismique fournissent leurs analyses à la commission catastrophe naturelle

Leur mission, évaluer l'intensité de la secousse

Ils sont sept experts à s'être rendus sur le terrain durant cinq jours pour évaluer l'impact du séisme. Leurs analyses et observations servent à la commission chargée de trancher sur les demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

Ils ont tourné dans une vingtaine de communes depuis lundi 18 novembre et jusqu'au vendredi 22 novembre. Et fait le tour des dégâts sur les bâtiments et maisons des communes touchées par le séisme du 11 novembre.

Ils sont sept experts chargés d'évaluer l'intensité de la secousse dans le GIM, pour le groupe d'intervention macrosismique. Répartis en binômes et issus de différents organismes* indépendants pour pouvoir confronter leurs conclusions, ils sont venus constater les effets sur le terrain de la secousse. « La première station sismologique était à 50 kilomètres. Nous n'avions donc pas de capteurs dans la zone. Il est important de faire aussi ces relevés », explique Antoine Schlupp, coresponsable du BCSP-Rénaiss (Bureau central sismologique français-Réseau national de surveillance sismique) et chef de mission du GIM.

L'intensité de la secousse s'exprime sur une échelle de I à XII

Leurs conclusions s'inscrivent sur une autre échelle que celle de Richter. « Il ne faut pas confondre avec la

magnitude, qui regarde d'où est parti le séisme. Nous, on regarde ce qui se passe à l'arrivée. »

La où la magnitude est le résultat d'un calcul à partir de sismogrammes, l'intensité de la secousse s'exprime sur une échelle de I à XII, en chiffres romains (qui est l'échelle européenne d'intensité macrosismique, EMS98). « À I, on ne ressent rien. Les premiers dommages sur les bâtiments les plus fragiles sont à V. À VII, les dommages sont très significatifs », poursuit-il.

Leurs premières conclusions ont été transmises à la commission catastrophe naturelle séisme, qui a déjà annoncé la reconnaissance de premières communes. D'autres pourraient suivre. « Elles nous ont été demandées rapidement car une procédure accélérée a été déclenchée. Mais nous ne sommes absolument pas décisionnaires, nous faisons seulement partager nos observations. L'intensité de la secousse comme la magnitude sont des critères principaux sur lesquels se base la commission », ajoute Antoine Schlupp.

Jusqu'à l'effondrement total de certains bâtiments les plus anciens

Vendredi, pour leur dernier jour, ils étaient à Savasse et Ancône. À nouveau, ils ont rencontré des élus, inspecté des bâtiments, comme ils ont pu le faire au Teil, avec l'aide des pompiers parfois aussi. Dans la majorité des cas, ils recensent des fissures, mais sur les zones

les plus sinistrées du Teil, cela va jusqu'à l'effondrement total de certains bâtiments les plus anciens. « Les bâtiments de plus d'un siècle ont été les premiers affectés, et très fortement quand proches de l'épicentre. Dans la majorité des cas sinon, on constate des fissures dans les murs des bâtiments et on identifie le niveau d'effondrement. Mais parfois, aussi on a pu voir que de l'extérieur, quasi aucun dommage n'était apparent sur certains bâtiments, alors qu'à l'intérieur, c'était important. Et on doit aussi regarder jusqu'à quel point les bâtiments les plus récents ont été affectés, c'est aussi une indication, tout comme le bassin sédimentaire. »

Un rapport détaillé à la suite de cette étude scientifique devrait être publié d'ici le printemps, et accessible au public. Ces éléments cartographiés constituent aussi une mine d'informations pour mieux comprendre les séismes passés.

Françoise VALENTIN

*Des experts du Cerema (centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), du CNRS (Centre national de la recherche scientifique), de l'ISSTerre (Institut des sciences de la terre), de Pacte (Université de Grenoble) et enfin de l'EOST/BCSP-Rénaiss (École et observatoire des sciences de la terre/Bureau central sismologique-Réseau national de surveillance sismique - Université de Strasbourg).



Les experts du groupe d'intervention macrosismique (GIM), sur le terrain, analysent et cartographient les dommages liés au séisme, comme ici au Teil.

REPÈRES

■ **Après le séisme, plus de 2 000 témoignages**
Vous pouvez toujours répondre au questionnaire sur www.franceseisme.fr. Depuis le 11 novembre, plus de 2 000 témoignages de Lyon jusqu'à Montpellier ont été recueillis. « Cela nous aide pour notre enquête car nous ne pouvons couvrir toute cette zone sur le terrain. Plus on en a, plus la statistique est meilleure. »

■ **Quelle est l'intensité de la secousse localement ?**
Supérieur ou égal à VII pour Le Teil, VII pour Viviers aussi, et supérieur ou égal à VI pour Châteauneuf-du-Rhône, les trois communes les plus sinistrées aussi. Des évaluations qui doivent encore être affinées.

■ **Le biais des fissures liées à la sécheresse**
Les fissures déjà liées à la sécheresse sur le secteur peuvent constituer un biais, reconnaît le spécialiste. « On pourrait être emmené à surestimer l'intensité. L'approche statistique nous permet d'avoir du recul. Les gens sont assez honnêtes aussi, et le disent. Les communes nous donnent également des éléments. Et on a des moyens de vérifier l'ancienneté d'une fissure (présence de mousse...); les images de StreetView nous servent aussi. On ne vérifie pas pour mettre en doute la bonne foi des gens, mais pour être sûrs de notre estimation. Ces données sont utilisées pour nos recherches. »

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

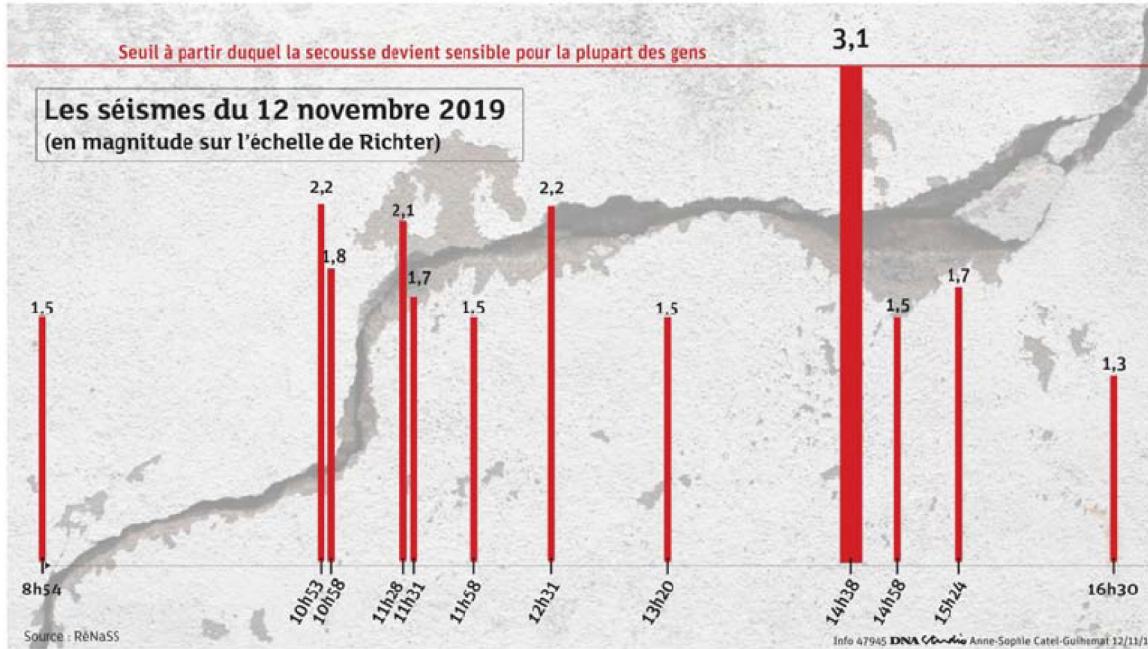
Un léger tremblement de terre a secoué Strasbourg à 14 h 38

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

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

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

Les habitants se sont rués sur les réseaux sociaux pour vérifier qu'ils n'avaient pas rêvé. « Hoenheim : comme un gros bruit d'explosion, le sol et les vitres ont tremblé », de page 4
« À l'E: avion q son ave sur dix : Véro. A gros b Quelqu chien a près du Olivier. Plus té apparei NaSS a percept de terre 2,2 sur



Un « événement induit », provoqué par des activités humaines

« Sur une fissure géologique, certainement préexistante, deux blocs de croûte terrestre ont glissé l'un contre l'autre. Avec cette faible magnitude, cela doit concerner une petite surface, quelques centaines de mètres carrés seulement », indique Jérôme Van der Woerd, chargé de recherches au CNRS à l'Institut de physique du globe de Strasbourg. Sur son site internet, le RéNaSS précise qu'il s'agit d'un « événement induit », c'est-à-dire

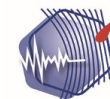
Est-ce que le séisme enregistré ce mardi est lié à cette activité ? Plusieurs observateurs, y compris des scientifiques, sont tentés de le croire.

La société Fonroche dément fermement. Au mois d'octobre, son directeur général expliquait qu'on n'était en aucun cas dans la configuration du site géothermique de Bâle le 8 décembre 2006, lorsque la pression était montée trop haut dans le réservoir, provoquant un séisme de 3,4 sur l'échelle de Richter (DNA d'hier).

Induced/triggered/natural seismicity ?

Davis & Frohlich, SRL, 1993

Question	Earthquakes Clearly NOT Induced	Earthquakes Clearly Induced
<i>Background Seismicity</i>		
1 Are these events the first known earthquakes of this character in the region?	NO	YES
<i>Temporal Correlation</i>		
2 Is there a clear correlation between injection and seismicity	NO	YES
<i>Spatial Correlation</i>		
3a Are epicenters near wells (within 5 km)?	NO	YES
3b Do some earthquakes occur at or near injection depths?	NO	YES
3c If not, are there known geologic structures that may channel flow to sites of earthquakes?	NO	?
<i>Injection Practices</i>		
4a Are changes in fluid pressure at well bottoms sufficient to encourage seismicity?	NO	YES
4b Are changes in fluid pressure at hypocentral locations sufficient to encourage seismicity?	NO	?
TOTAL "YES" ANSWERS	0	>5



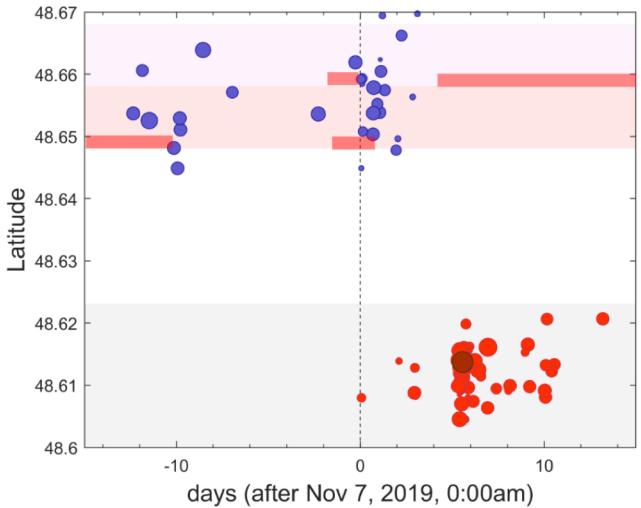
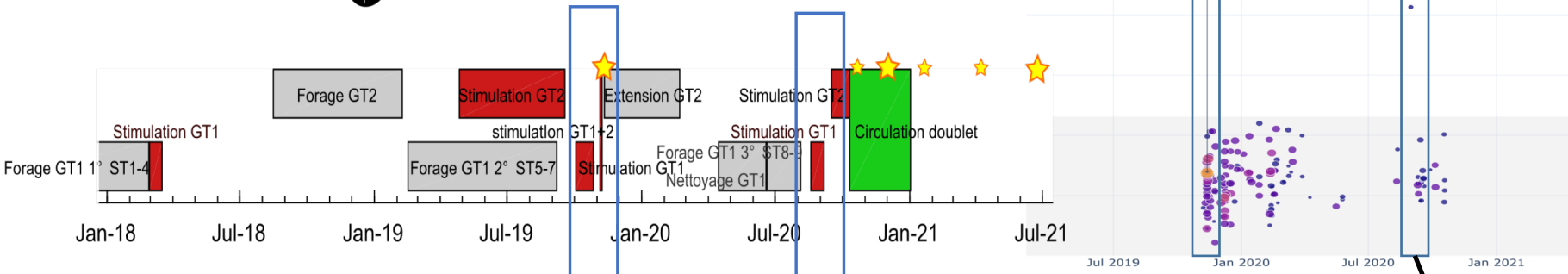
Informations générales

BCSF
RENASS

Date & Heure Locale	12/11/2019 14:38:13
Date & Heure UTC	12/11/2019 13:38:13
Latitude :	48.61°
Longitude :	7.79°
Profondeur :	5 km
Magnitude :	3.0 MLv
Type :	Événement induit

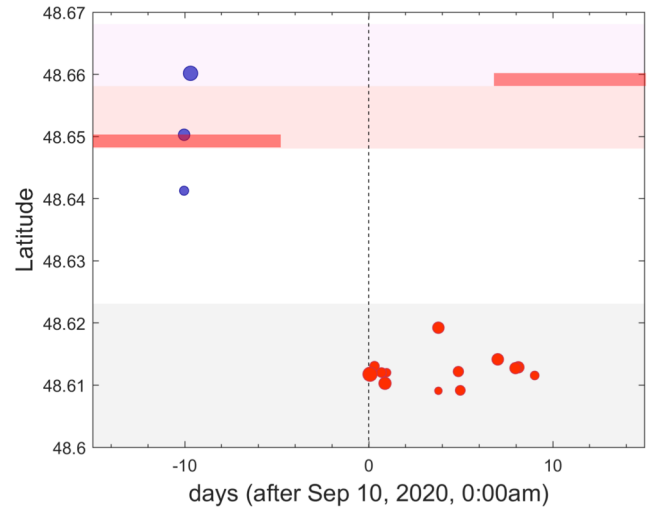
Classified by BCSF-
RéNaSS as 'induced
event'

Reproductibilité



~10 day delay between
 GT1 well and the southern
 cluster

 [Schmittbuhl et al, 2021]





École et observatoire

des sciences de la Terre

de l'Université de Strasbourg

et du CNRS

DNA REGION

SCIENTIQUES Après le tremblement de terre ressenti dans toute la vallée du Rhône

Les séismes vus de Strasbourg

L'École et observatoire des sciences de la Terre (EOST) de l'Université de Strasbourg a une tradition plus que centenaire d'observation des séismes. Le tremblement de terre, ressenti hier dans la vallée du Rhône (lire notre premier cahier), y a évidemment été mesuré. Depuis 1900

Berceau important de la sismologie en France, l'Université de Strasbourg dispose d'une station depuis 1902. Elle a été inaugurée en 1900 sous le nom de « Kaiserliche Hauptstation für Erdbebenforschung ». Aujourd'hui, les bruits ambiants de la ville polluent les mesures. Cependant, un sismomètre de référence est toujours en fonctionnement dans un bâtiment de l'EOST (École et observatoire des sciences de la Terre). L'EOST est placée sous la tutelle de l'Université de Strasbourg et du CNRS.

Suivi de l'activité sismique

Fédérant environ 150 stations sismologiques françaises, le Réseau national de surveillance sismique (RÉNaSS), installé à l'EOST, est chargé de suivre et de diffuser sur son site internet l'activité sismique de la France métropolitaine, ainsi que celle des zones frontalières (Allemagne, Angleterre, Belgique, Espagne, Italie, Luxembourg, Suisse). À partir des signaux provenant des réseaux français et européens, un analyste sismologique détermine l'heure, la localisation et la magnitude des séismes. Il analyse la sismicité naturelle et la sismicité induite provoquée par l'activité humaine, comme les explosions et le déminage ou aux activités minières. Le RÉNaSS emploie une équipe de six personnes, composée d'ingénieurs et de techniciens, dont deux analystes sismologiques, un informaticien et un sismologue. Il localise plusieurs milliers de séismes par an en France métropolitaine et dans les zones frontalières (environ 400 en 2018).

Bien choisir ses sites d'implantation

Les stations sismologiques actuelles sont installées dans des sites choisis pour leur qualité sismique : une roche dure pour un bon couplage avec le sol et peu de bruit autour du site, c'est-à-dire sans routes trop fréquentées ni villes importantes. Les anciennes mines désaffectées constituent de bons sites pour certaines stations vosgiennes. En France, en décembre 2018, près de 150 stations dont 27 pour le réseau dit « réseau du



L'ingénieur de recherche Marc Grunberg, responsable du RÉNaSS, devant une carte des stations sismologiques.

TE. MEL 01

fosé rhénan ».

Un réseau de stations plus homogène

Installées sur l'ensemble du territoire métropolitain, les stations sismologiques, qui étaient au nombre de 50 dans les années 80, principalement situées dans les zones les plus sismiques, les Pyrénées, les Alpes et le Fossé Rhénan, ont été densifiées depuis les années 2010, dans le cadre du projet RESIF : le nouveau Réseau Sismologique et géodésique Français. Le réseau de surveillance est devenu plus homogène, avec une meilleure couverture du bassin parisien et du massif armoricain.

L'ambition de RESIF

L'objectif du projet RESIF est de disposer de près de 200 stations. L'EOST est placée sous la tutelle de l'Université de Strasbourg et du CNRS. L'objectif du projet RESIF est de disposer de près de 200 stations. L'EOST est placée sous la tutelle de l'Université de Strasbourg et du CNRS.

70 % de tirs de carrière

« Les tirs de carrière représentent environ 70 % de la sismicité que nous enregistrons dans le Fossé Rhénan », souligne l'ingénieur de recherche Marc Grunberg, co-responsable du BCSF/RÉNaSS. « Chaque carrière à ses cadences de tirs, mais la forme du signal change. Ce n'est pas évident, mais nos analystes peuvent dire qu'un tir provient de telle ou telle carrière ». Les progrès en informatique, notamment le machine learning (l'apprentissage automatique ou statistique), ont fait évoluer le métier des analystes sismologiques.

Surveillance des sites de géothermie profonde

« Nous sommes également un réseau de surveillance des sites de géothermie profonde. Les puits peuvent être forés jusqu'à plusieurs kilomètres de profondeur. Notre réseau de capteurs, composé par des stations mines à notre disposition par les opérateurs de géothermie profonde, nous permet de mesurer la micro-sismicité induite par les opérations de forage ou lors de



Maxime Bes de Berc, responsable de tous les instruments de mesure du RÉNaSS. Photos DNA/Jean-François BADIAS

l'exploitation du site » indique Marc Grunberg du BCSF/RÉNaSS qui travaille en lien avec la DREAL et les industriels.

Calculs numériques

« Tout est numérique. Nos serveurs de calcul analysent en temps réel les signaux sismologiques provenant des capteurs pour repérer les arrivées d'énergie et permettre la localisation des séismes. L'objectif est localisé selon le principe de triangulation », explique Marc Grunberg.

Collecte des témoignages

« Collecter après un séisme les témoignages des citoyens est essentiel pour estimer l'importance des secousses car les citoyens sont bien plus nombreux que nos stations. Il suffit pour cela de répondre à quelques questions sur www.franceosisme.fr, le site du Bureau central sismologique français (BCSF) et vous

contribuez alors à nos études. En mai 2018, nous avons reçu un millier de témoignages lors d'un séisme de magnitude 3,5 localisé à environ 15 km de Mulhouse », se souvient Marc Grunberg, co-responsable du BCSF/RÉNaSS. Le questionnaire en ligne va encore être amélioré pour le rendre plus ergonomique et en adaptant les questions au fur et à mesure des réponses ». En 2020 sera lancé le nouveau site www.franceosisme.fr qui fusionnera les sites actuels du RÉNaSS et du BCSF, pour diffuser l'information sismologique la plus complète possible sur un site unique.

Un service pour les instruments sismologiques

L'EOST dispose d'une plateforme technique spécialisée dans l'instrumentation sismologique permettant de vérifier le protocole d'installation des capteurs, leur couplage au sol,

de tester, calibrer, mais aussi de réparer différents équipements scientifiques et techniques habituellement installés dans les stations : sismomètres, numériseurs, PC industriels, armateurs de supervision, câbles... Cet outil strasbourgeois sert de plateforme nationale.

Une plateforme montée sur piliers

La plateforme bénéficie de locaux dédiés, et en particulier de piliers sismologiques de grande taille dans les sous-sols, désolidarisés du bâtiment afin de limiter au maximum l'impact de ses mouvements sur les instruments de mesure. Pour fonctionner correctement, un sismomètre a besoin d'une stabilité thermique et hygrométrique. « Nous sommes très gênés par les variations de températures », remarque Maxime Bes de Berc, ingénieur en instrumentation à l'EOST, responsable de la plateforme instru-

mentale sismologique.

L'intérêt des capteurs low cost grand public

Le BCSF/RÉNaSS s'intéresse aux capteurs low cost, d'un coût entre 500 et 1000 euros, destinés au grand public mais qui suscitent de plus en plus l'intérêt des observateurs sismologiques. En comparaison, le prix d'un capteur utilisé dans les laboratoires de sismologie s'élève entre 11 000 et 15 000 euros pièce, jusqu'à 50 000 euros en prenant en compte le coût de l'installation. Environ 50 capteurs low cost sont répartis actuellement en France, dont 30 en Alsace. « En multipliant les instruments de mesure, même si la qualité est moindre, ces capteurs low cost peuvent compenser les éventuelles faiblesses d'un réseau académique et répondre à certaines questions scientifiques », explique Maxime Bes de Berc.

Jean-François CLERC

Séisme du 22 février 2003 : l'opéra de Strasbourg évacué



Évacuation spontanée de l'opéra de Strasbourg, après le secousse sismique du 22 février 2003. Photo archives DNA/Cécile JOURBERT

con furent plongés dans le noir. ■ Le 5 décembre 2004, un autre séisme, dont l'épicentre était localisé à l'est de Colmar, en Forêt-Noire, était ressenti en Alsace. D'une magnitude de 5,5, il se produisit vers 3 h 30 du matin, au beau milieu de la nuit, et réveilla nombre de

dormeurs : « C'était un peu comme un métrô qui passe », « C'était comme si quelqu'un avait tenu le pied du lit et l'avait secoué », ont témoigné des locataires. Quelques fissures furent relevées à Colmar ainsi qu'une fuite d'eau sans gravité. Les pompiers reçurent des centaines d'appels.

■ Le 8 décembre 2006, Bâle fut secoué par un séisme de magnitude 5,4. Le soir même, l'opérateur d'un projet de géothermie, Geopower Basel AG, reconnaissait sa responsabilité. En injectant de l'eau sous pression à 5 000 mètres de profondeur, les ingénieurs avaient provoqué un séisme dont l'intensité dépassa leurs prévisions. Il n'y eut pas de dégâts significatifs.

■ Le 5 mai 2009, un séisme d'une magnitude de 4,3 fut ressenti en Allemagne, à Siesenheim, au nord-est de Litzersbach, à l'est de Mulhouse. Quelques habitants de la cité du Bollwerk contactèrent les sapeurs-pompiers, mais aucun dégât ne fut déploré. On procéda à un contrôle approfondi de l'échafaudage accolé au temple Saint-Etienne pour la rénovation de l'édifice. En Suisse, quelques coupures d'alimentation électriques furent recensées.

D. T.

STRASBOURG

Toujours l'incertitude sur l'origine du séisme

Rapport CNRS

ENVIRONNEMENT

Pour le CNRS, il y a une « faible probabilité d'un séisme naturel »

Coordinateur du groupe d'experts CNRS qui travaille sur les séismes enregistrés près de Strasbourg, le sismologue Pascal Bernard de l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP), explique pourquoi cette activité sismique est selon ces chercheurs « très probablement » liée aux forages de géothermie.

Pour Fonroche, « aucun lien avec la géothermie »

L'industriel Fonroche, qui construit une centrale de cogénération électricité-chaaleur dans l'écoparc rhénan de Vendenheim-Reichstett, a réaffirmé mercredi que l'épisode sismique ressenti mardi dans la région de Strasbourg n'avait aucun lien avec son activité.

« C'est un événement dissé, il n'y a aucune relation de cause à effet », a réaffirmé mercredi Jean-Philippe Soulé, directeur général de Fonroche Géothermie, en présence de Bernard Kempf, directeur du développement chez Électricité de Strasbourg, et de Jean-Jacques Graff, président de l'association française des professionnels de géothermie (AFPG). Ils étaient présents sur le site de Fonroche, à l'écoparc rhénan de Reichstett-Vendenheim, à l'occasion d'un point presse sur les perspectives offertes par la présence de lithium dans les eaux géothermales alsaciennes. Bien entendu, la question du séisme survenu mardi dans la région strasbourgeoise a rapidement été évoquée.

« Le puits premier était à l'arrêt depuis vendredi dernier », a précisé Jean-Philippe Soulé, en rappelant que l'événement avait eu lieu à cinq kilomètres du site de Fonroche à Vendenheim. « Nous disposons d'un réseau de surveillance de sept géophones en fonction 24 heures sur 24, qui permettent de mesurer les niveaux de sismicité en continu. Ce



Jean-Philippe Soulé, directeur général de Fonroche Géothermie : « Il n'y a pas de relation de cause à effet, les données sont dans les maies des scientifiques. Il y aura plusieurs mois de travail avant de connaître l'origine de cet événement ». Photo DINA/FRANÇOIS DELORME

réseau est en ligne directe avec le RENass (réseau national de surveillance sismique). Depuis un an et demi, il dispose de toutes nos données. Depuis mars 2018, il y a eu quelque 300 événements de microsismicité, dont le plus important atteint 1,9 de magnitude », a indiqué le représentant de Fonroche. Toutes ces données sont à la disposition des scientifiques. « Nous avons mis toutes nos compétences et nos ressources à la disposition du RENass pour aider à rechercher les origines de cet événement sismique. Nous attendons les conclusions », a

complété Bernard Kempf. La centrale de Vendenheim pour le printemps 2020

L'épisode sismique n'a pas de conséquences sur la poursuite des projets de géothermie profonde menés dans l'Euro métropole de Strasbourg. À Vendenheim, la centrale en cours de construction devrait être opérationnelle au printemps 2020. À Illkirch Graffenstaden, après la réalisation du premier forage, la phase d'essai se poursuit : elle doit encore durer huit à dix mois.

VB.



Rapport BRGS-Ineris



Le CNRS privilégie la piste de la géothermie pour expliquer le séisme

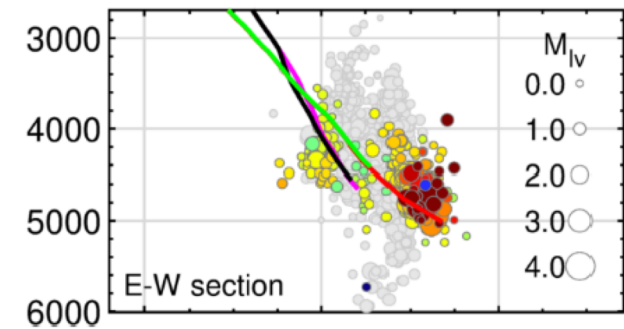
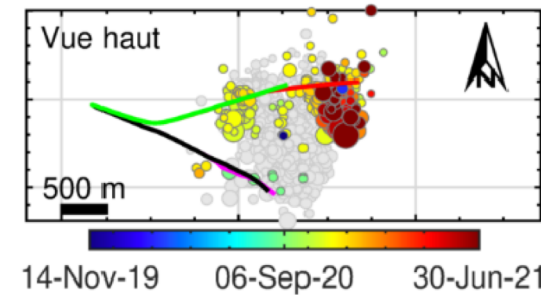
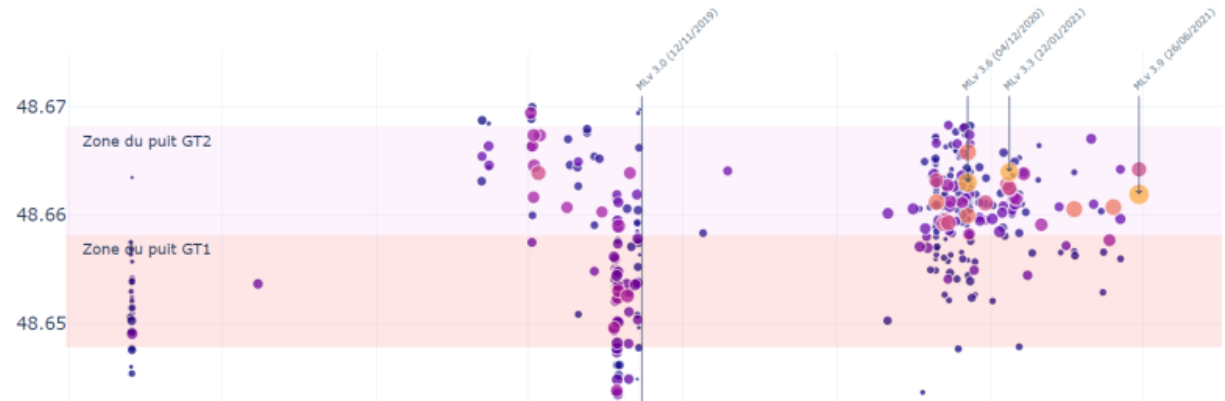
Le groupe de recherche « Sismicité Strasbourg » privilégie la piste de la géothermie pour

Les leçons

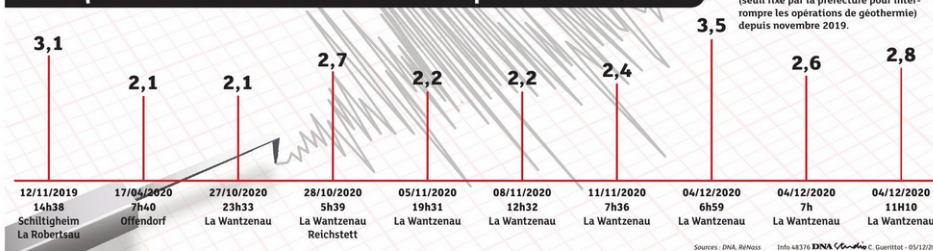
- **Les leçons :**
 - Problème de la communication à chaud -> exclusion de l'AFPG
 - Qui parle à l'Eost ?
 - L'Eost ?
 - Le RénaSS ?
 - L'ITI ?
 - Les chercheurs ?
 - Problème de l'identification de l'origine des séismes
 - Limite floue entre observation et surveillance
 - Mise en évidence de l'inadaptation de la convention de partage des données
 - Au final, le doute profite à l'industriel...

Cluster nord

La Wantzenau – Mar 2018/June 2021



La fréquence des séismes s'accroît depuis octobre 2020



Séismes d'une magnitude supérieure à 2 (seul fixé par la préfecture pour interrompre les opérations de géothermie) depuis novembre 2019.

Sources : DNA, RNASS Info 48376 DNA, C. Quantinot - 05/12/2020

ENVIRONNEMENT Risques sismiques liés à la géothermie

Chronique d'une aventure industrielle mise en suspens

À l'heure où la première centrale de cogénération de France était en état de démarrer, le séisme de magnitude 3,5 sur l'échelle de Richter, survenu vendredi, met un coup de frein brutal à ce projet de géothermie profonde. Plusieurs élus demandent un arrêt définitif du site.

La route vers l'ort vert risque fort de s'inscrire dans un temps beaucoup plus long que prévu, dans l'agglomération strasbourgeoise. Le projet de Fonroche, l'un des leaders de la géothermie profonde en France, connaît un démarrage plus que chaotique.

Un fort soutien politique

Vendredi, suite à la secousse de magnitude 3,5, la préfète du Bas-Rhin a demandé l'arrêt de l'activité sur le site de Vendenheim-Reichstett et indiquant que « l'événement remettait en cause certaines conditions des conduites d'opération et du fonctionnement de Geoven (l'unité Fonroche de Vendenheim) ».

À ses débuts, la présentation de



L'avenir du site de Vendenheim-Reichstett est sérieusement remis en cause. Photo DNA/Jean-Christophe DORN

cette technologie s'est heurtée à beaucoup de méfiance au sein de la population, mais a bénéficié d'un fort soutien politique. Le président de l'EMS (Eurométropole de Strasbourg) à l'époque, Robert Herrmann, ainsi que son adjoint écologiste Alain Jund, au nom de la transition énergétique, défendaient les vertus de cette nouvelle technologie décarbonée, renouvelable et propre. Elle devait permettre de couvrir 30% des besoins en chaleur de l'agglomération.

En 2017, après avoir retiré un projet d'implantation au Port aux pétoles à Strasbourg, l'industriel Fonroche devançait l'opérateur historique dans la région, ES (Électricité de Strasbourg) et était le premier à obtenir l'autorisation à forer à Reichstett-Vendenheim. Quelques mois plus tard, ES, lui aussi, était habilité à engager des travaux de forage à Illkirch-Graffenstaden.

En septembre 2018, lorsque l'Écoparc de Reichstett-Vendenheim renaissait sur les cendres de l'ancienne raffinerie, autorités et élus, alors en visite, citaient les atouts d'une nouvelle zone d'activités emblématique, notamment grâce à la géothermie profonde, facteur d'attractivité pour les entreprises.

Depuis la secousse de 3,1 du 12 novembre 2019, la confiance est ébranlée. Quelle d'experts sur la responsabilité de Fonroche, mise en place de tests de traçage, sous contrôle de la préfecture, puis suspension des tests en vue d'un nouveau protocole à valider par un co-

Les séismes strasbourgeois secouent outre-Rhin

Le conseiller municipal de Kehl Heinz Rith ne pensait pas jouer les Cassandre en questionnant le Conseil de l'Eurométropole réuni jeudi à Offenbourg sur les forages de géothermie profonde à Reichstett-Vendenheim, qui ont déjà provoqué plusieurs séismes. La présidente de l'Eurométropole, Pia Imbs, a voulu le rassurer : les forages de Fonroche sont à l'arrêt depuis les dernières secousses ressenties cet automne. C'était oublier le maintien d'un débit de sécurité qui a provoqué le tremblement de terre de 3,5 ce vendredi. « Les sous-sols sont pleins de surprises, mais le sujet est transfrontalier », reconnaît Pia Imbs, qui annonce trois débats numériques – le premier, le 11 décembre, en français.

Heinz Rith a rappelé la proximité du deuxième site de géothermie de l'agglomération strasbourgeoise, à Illkirch, de la commune allemande de Neuried. « Si des séismes se produisent côté allemand, comment obtenir des dédommagements éventuels ? L'Eurométropole peut-il trouver un accord juridique pour les citoyens des deux rives ? » Las, les autorités compétentes sur le sujet restent nationales : la préfecture et le Regierungspräsidium de Fribourg-Brisgau. À la tête de l'Eurométropole, le landrat de l'Ortenau Frank Scherer et la maire de Strasbourg, Jeanne Barseghian, ont annoncé l'envoi d'un courrier commun.

mité d'experts.

Vendredi matin, les deux derniers événements sismiques ont déclenché une vague de réactions d'élus de tous bords.

« Un point de non-retour »

Des maires, réunis au projet de Fonroche, estiment que le seuil d'alerte est atteint. Georges Schuler (Reichstett), demande l'arrêt total et définitif de la centrale : « La sécurité des habitants n'est plus garantie ». Michèle Kammergesser, maire de La Wantzenau, dit avoir été noyée sous une avalanche d'appels de conciliateurs inquiets, notamment pour les effets sur le bâti ancien et a ouvert une réunion de crise, dès 10 heures, à la mairie, pour rassurer ses concitoyens. L'édile considère ces deux dernières secousses comme un « point de non-retour ».

À Strasbourg, trois élus de l'opposition ont improvisé un point presse, à midi, sur le site à Vendenheim

pour demander à la nouvelle majorité écologiste « qui soutient la géothermie » de sortir de son aveuglement idéologique et de ne plus jouer aux apprentis sorciers » (Jean-Philippe Vetter, LR).

« C'est un déni de réalité, on est rattrapé par les faits »

« C'est un déni de réalité, on est rattrapé par les faits. C'est le onzième séisme en deux mois, le risque est désormais avéré, il faut protéger les habitants et les biens », a déclaré Alain Fontanel, ancien premier adjoint au maire de Strasbourg. Tous deux, ainsi que Catherine Graf-Ecker, maire de Lingolsheim et présidente du groupe « maire et élus indépendants » (auquel s'associe Jean-Louis Hoerlé, maire de Bischheim), ont signé un courrier à l'intention de Pia Imbs, présidente de l'EMS, demandant la mise en place d'une mission d'information et d'évaluation.

Valérie BAPT

Le comité d'expert

- En avril 2021, la Préfecture du Bas Rhin a constitué un comité d'experts pour l'éclairer sur plusieurs questions posées autour du projet géothermique GEOVEN
- Ce comité est composé d'experts issus du monde académique (Univ. de Strasbourg/EOST – J. Schmittbuhl, Univ. de Neuchâtel/Suisse – B. Valley, Univ. de Montpellier – R. Soliva, Univ. de Lorraine – Y. Géraud, Univ. PSL/Mines PARISTECH – D. Bruel), de l'Ineris (F. de Santis) et du BRGM (M. Terrier).
- Les questions qui étaient posées concernaient
 - La compréhension des mécanismes conduisant au déclenchement de la sismicité au voisinage des puits en fin 2020 (objectif 1),
 - La réévaluation du lien entre les opérations sur le site géothermique de Vendenheim et l'activité sismique survenue depuis novembre 2019 dans le secteur de la Robertsau (objectif 2),
 - L'identification d'éventuels indices qui auraient pu alerter sur la survenue d'événements sismiques majeurs (objectif 3),
 - L'état post-opération du réservoir (objectif 4),
 - Un retour d'expérience (REX) de Vendenheim, en faisant ressortir des recommandations ou pistes de réflexion utiles pour les sites géothermiques voisins (objectif 5).
- Un objectif 0 a été conçu pour, d'une part, consolider et valider des données existantes de FG et, d'autre part, expertiser les modèles géologique, hydrogéologique et géomécanique de FG.

Conclusions et recommandations

Objectif 1 - La compréhension des mécanismes conduisant au déclenchement de la sismicité au voisinage des puits (en particulier à partir de fin 2020)

La sismicité enregistrée au proche voisinage du puits GT2, avec notamment l'occurrence des événements de Mlv 2,1 et 2,8, du 27 et 28 octobre, ainsi que le séisme de Mlv 3,6 du 4 décembre 2020, est à associer aux opérations en mode doublet (GT1 producteur et GT2 injecteur), menées sur les puits d'octobre à décembre 2020.

Parmi les causes de cette sismicité, les volumes importants de fluide injecté depuis septembre 2020, dans un réservoir autour de GT2, de taille réduite et à injectivité initiale faible, ont entraîné la mise en pression du fond du puits.

En effet, le CE estime que les deux puits semblent connectés à deux réservoirs distincts et indépendants : l'un plus petit au proche voisinage de GT2 et l'autre, plus grand, autour de GT1 et potentiellement connecté vers le sud à la zone de la Robertsau.

En conséquence, ces injections ont induit une déstabilisation des failles et fractures préexistantes aux forages (principalement d'orientation N130 et déjà dans un état mécanique naturellement proche de la rupture) à proximité du puits.

La faible taille du réservoir autour de GT2, sa faible injectivité et la forte sismicité sont des propriétés qui semblent difficiles à améliorer (ce qui rend l'exploitation de GT2 difficile).

Conclusions et recommandations

Objectif 2 - Avis du CE sur les opérations de Vendenheim et l'activité sismique survenue depuis novembre 2019 dans le secteur de la Robertsau (Strasbourg)

Dans son analyse, le CE s'est appuyé sur les sept critères proposés par Davis et Frohlich (1993) pour classer un séisme d'induit ou naturel, en suivant la publication récente de Schmittbuhl et al. (2021). **Il en résulte un faisceau d'indices concordants vers l'existence d'un lien entre la sismicité de Strasbourg et les activités sur le doublet de Vendenheim, notamment avec les injections dans GT1.**

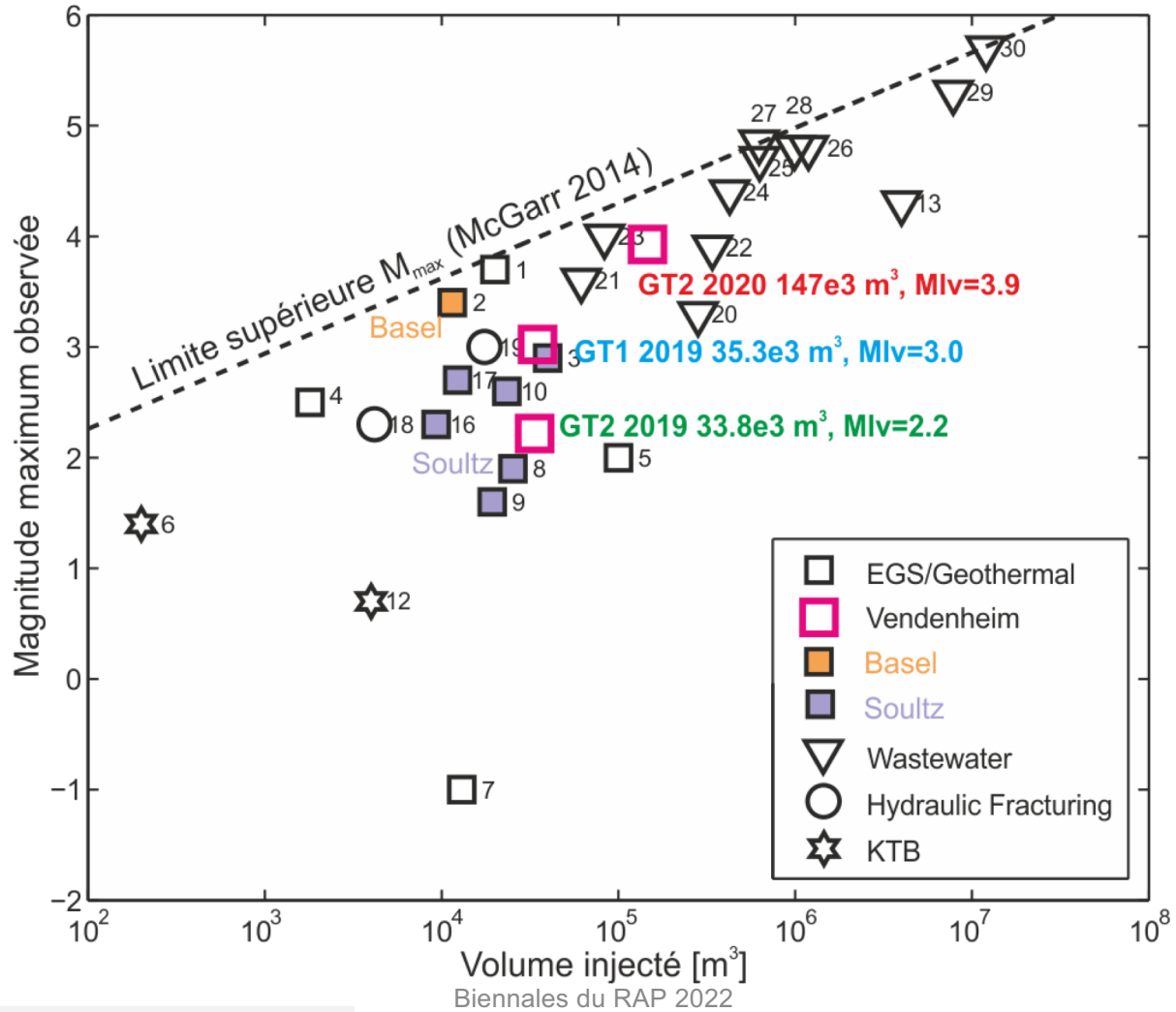
Les observations d'une sismicité en août 2020 dans l'essaim de Strasbourg après de fortes injections dans les puits GT1 confirme **une connexion du puits GT1 à un réservoir de fluide de grande extension vers le sud le long de la faille régionale (au moins 5 km). Une telle taille de réservoir était manifestement sous-estimée dans le modèle conceptuel initial du projet de FG.**

Ceci a deux conséquences :

- d'une part, **le puits GT1 est vraisemblablement connecté à un réservoir de fluide géothermal de grande taille vers le sud** ce qui est une situation favorable à une exploitation de géothermie profonde ;
- d'autre part, **ce réservoir est situé le long d'une faille régionale dont certaines parties sont proches de l'instabilité naturellement** et donc constitue une situation défavorable en termes de risque sismique. L'exploitation de ce puits nécessite donc des précautions particulières (exploration spécifique à développer, révision du monitoring, développement d'une modélisation adaptée).

Plusieurs mécanismes peuvent permettre d'expliquer les observations (existence d'un segment asismique entre les deux zones, transfert de contrainte associés à des effets poroélastiques, différences de cohésion le long de la faille, etc).

Maximum magnitudes / injected volumes



8/11/2022

Les leçons

- **Les leçons :**
 - Problème de la communication sur le long terme
 - Inhérent à la sismicité : les mêmes problèmes existent toujours (que va-t-il se passer ?)
 - Comment être prudent sans tuer une filière ?
 - Problème de l'identification de l'origine des séismes
 - Techniquement des progrès (notamment avec l'IA)
 - Difficulté de différencier induit et différé => anthropique ?
 - Relation avec les services de l'Etat pas évidentes car nous sommes académiques, pas organisme.
 - Une relation avec les industriels qui s'appaise.

Questions ?