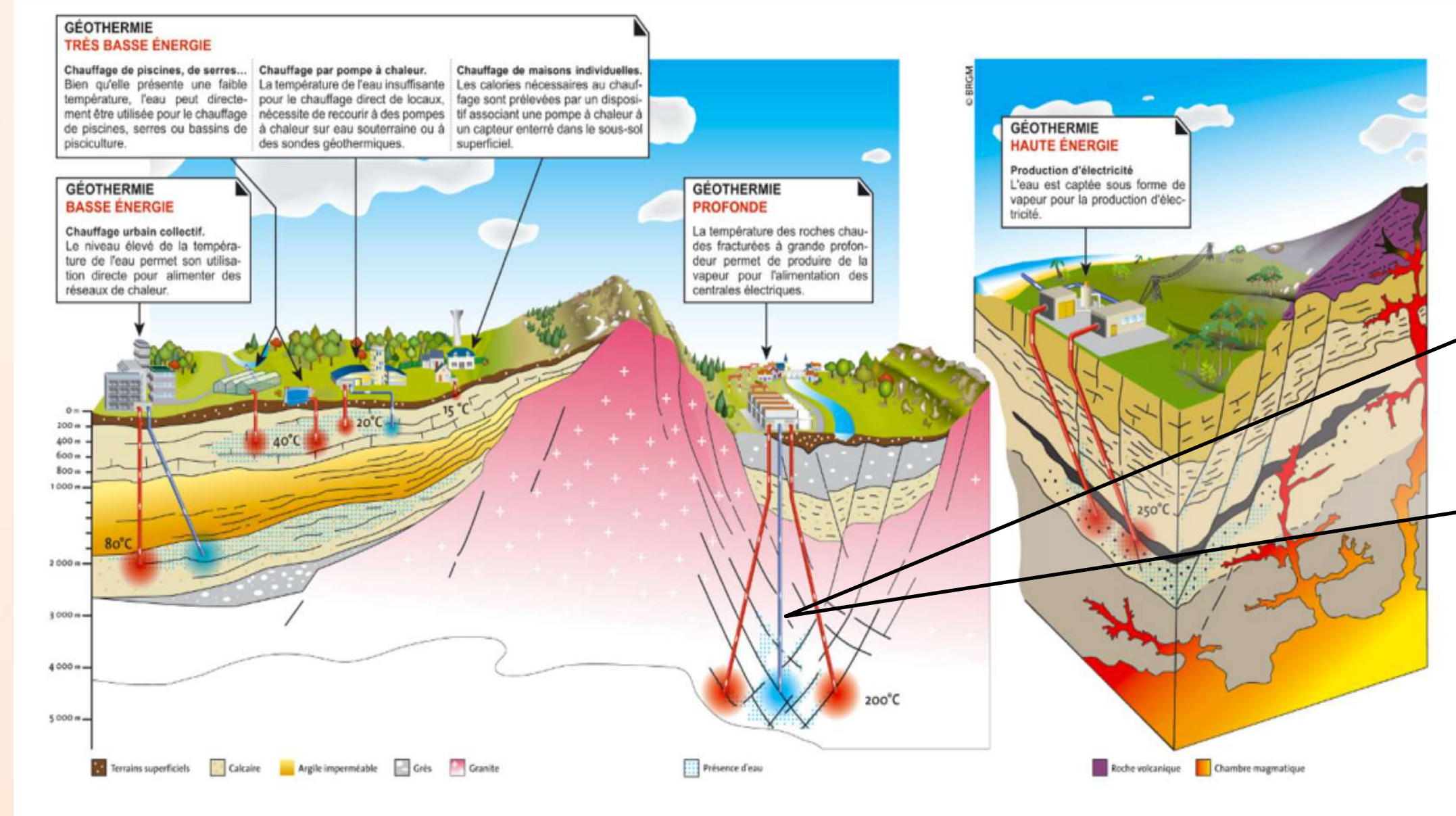


Qu'est-ce que la géothermie profonde ? Quel lien avec les séismes ?

La géothermie permet d'exploiter les réserves d'eau naturellement chaudes présentes dans les profondeurs de la Terre, afin d'alimenter l'Homme et ses installations en eau chaude ou pour produire de la chaleur, du froid ou l'électricité.

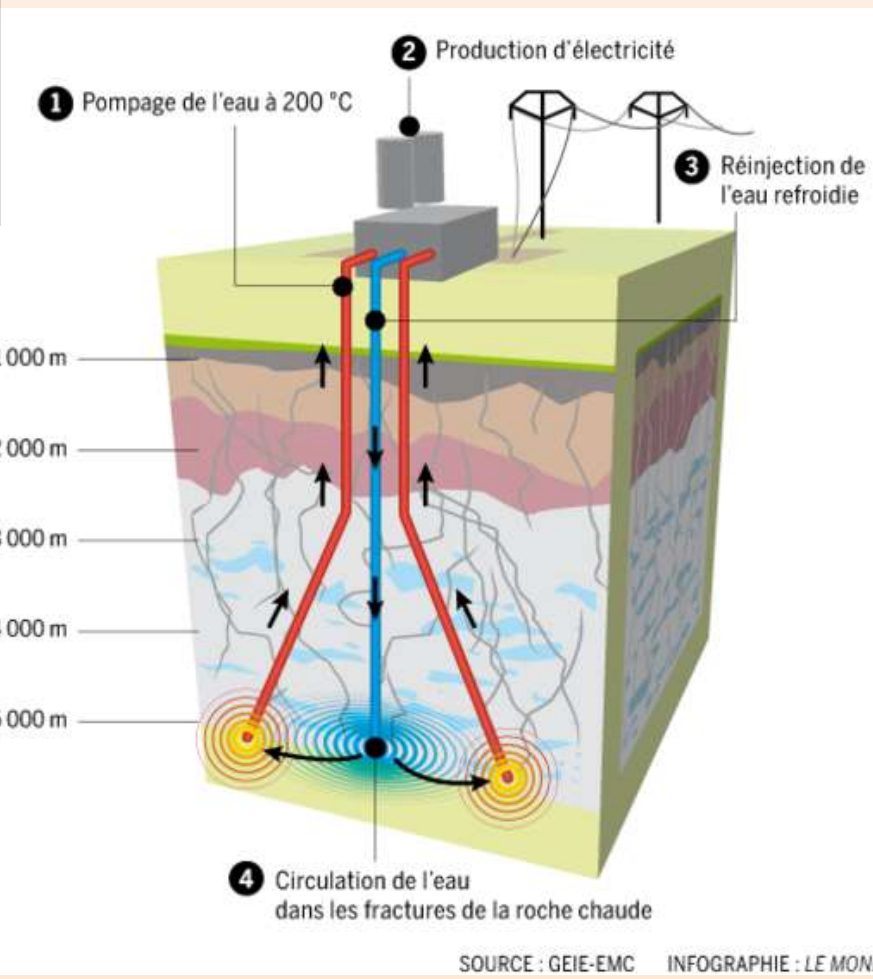
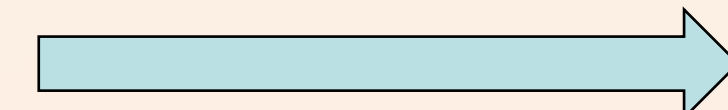
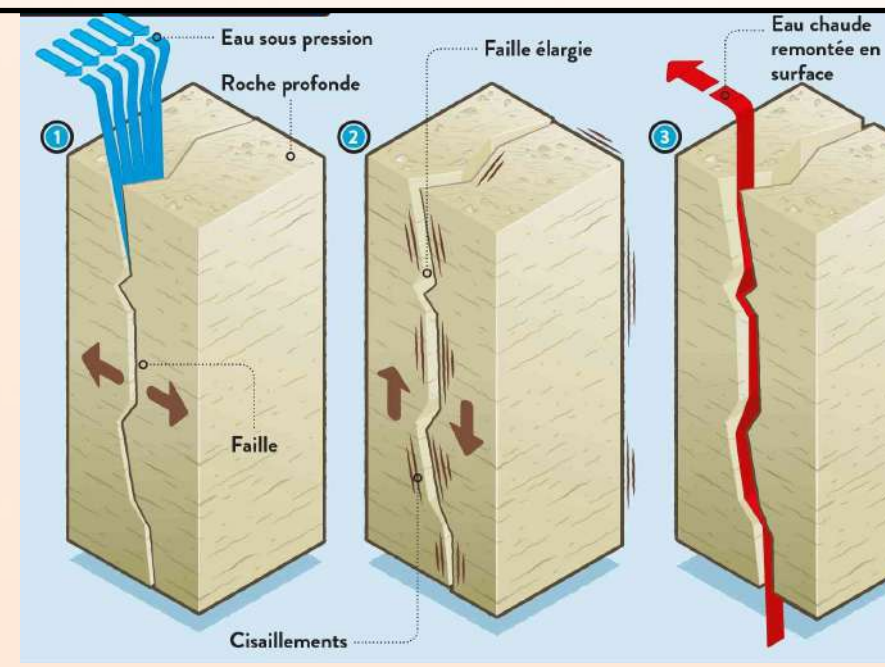


Comment ça marche ?

On creuse d'abord un puits de 4000 à 6000 m de profondeur pour faire circuler l'eau au contact des roches chaudes.

La géothermie profonde tire parti de failles géologiques déjà existantes pour faire circuler l'eau en profondeur. Pour améliorer le rendement et faciliter la circulation de l'eau en profondeur, on utilise la technique de « stimulation hydraulique » : injecter de grands volumes d'eau à haute pression afin de « réactiver » les failles.

L'eau qui circule en profondeur se réchauffe au contact des roches puis est extraite du sous-sol. On récupère la chaleur de ce fluide à l'aide d'un échangeur thermique en surface.



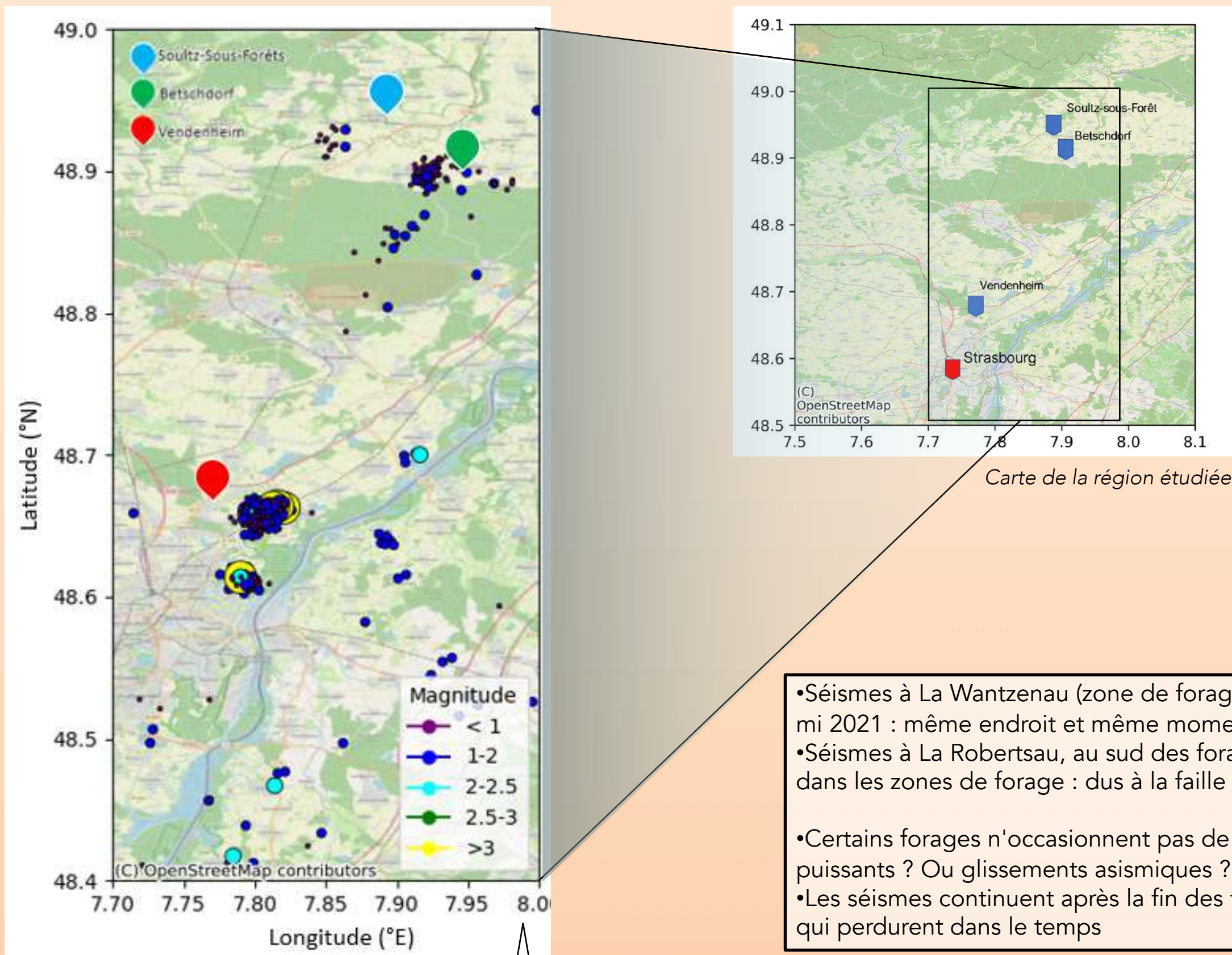
Quel risque avec l'utilisation de ces failles ? La sismicité induite

La géothermie réactive les failles, ce qui peut provoquer des glissements des roches et donc un risque de sismicité. On parle dans ce cas de « sismicité induite ». Néanmoins, il est difficile en pratique de distinguer sismicité induite et sismicité naturelle.

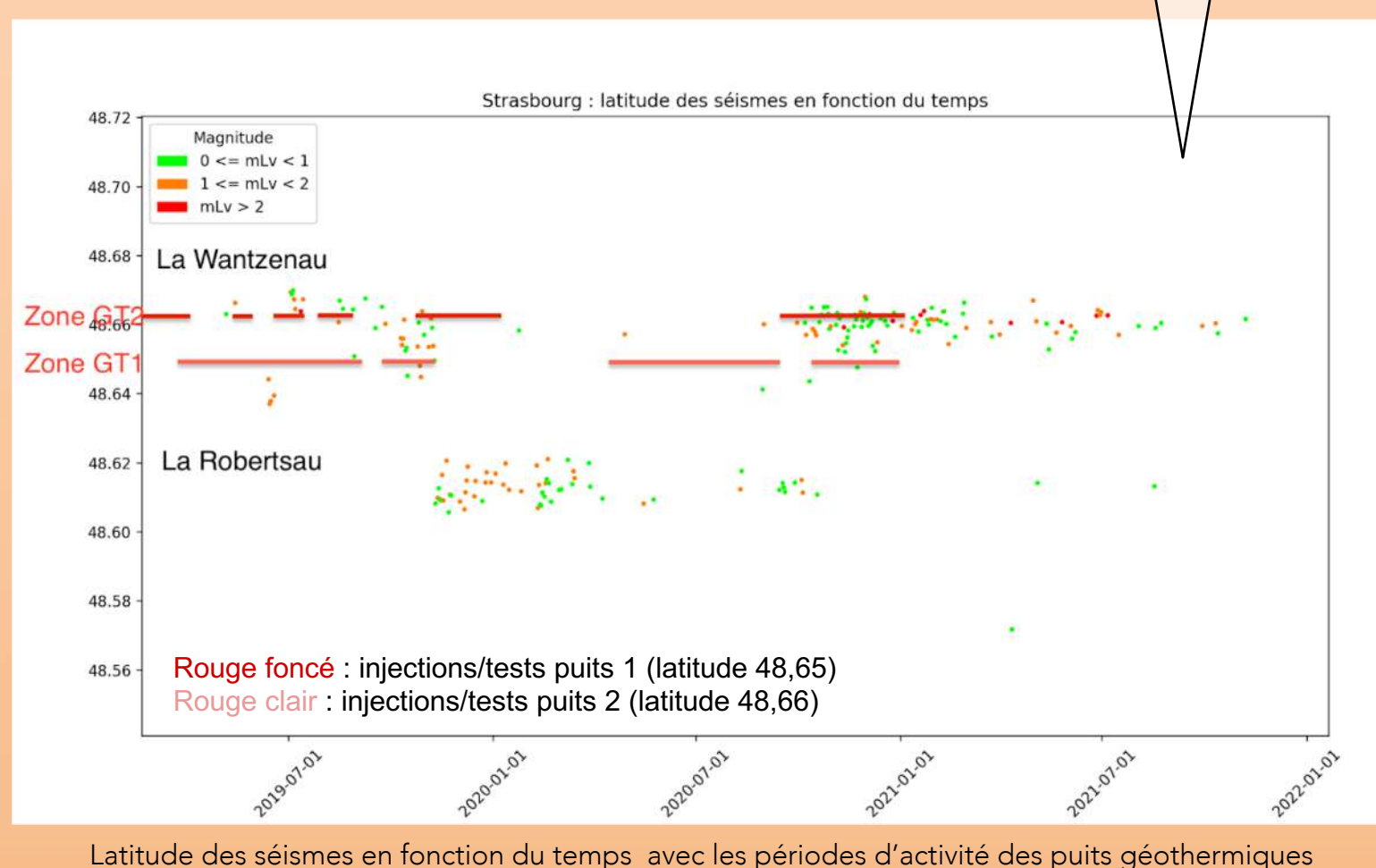
- Quelques facteurs d'influence de la sismicité induite :
- Volumes d'injection
 - Profondeur du réservoir envisagée
 - Type de roche
 - Sismicité de la région
 - Existence de failles,
 - ...



La situation à Strasbourg : forte activité sismique à Vendenheim



- Séismes à La Wantzenau (zone de forage) mi 2019 et fin 2020-mi 2021 : même endroit et même moment que les tests
- Séismes à La Robertsau, au sud des forages, après les séismes dans les zones de forage : dus à la faille verticale
- Certains forages n'occasionnent pas de séismes : pas assez puissants ? Ou glissements aismiques ?
- Les séismes continuent après la fin des forages : perturbations qui perdurent dans le temps



Site de géothermie de Fonroche Vendenheim :

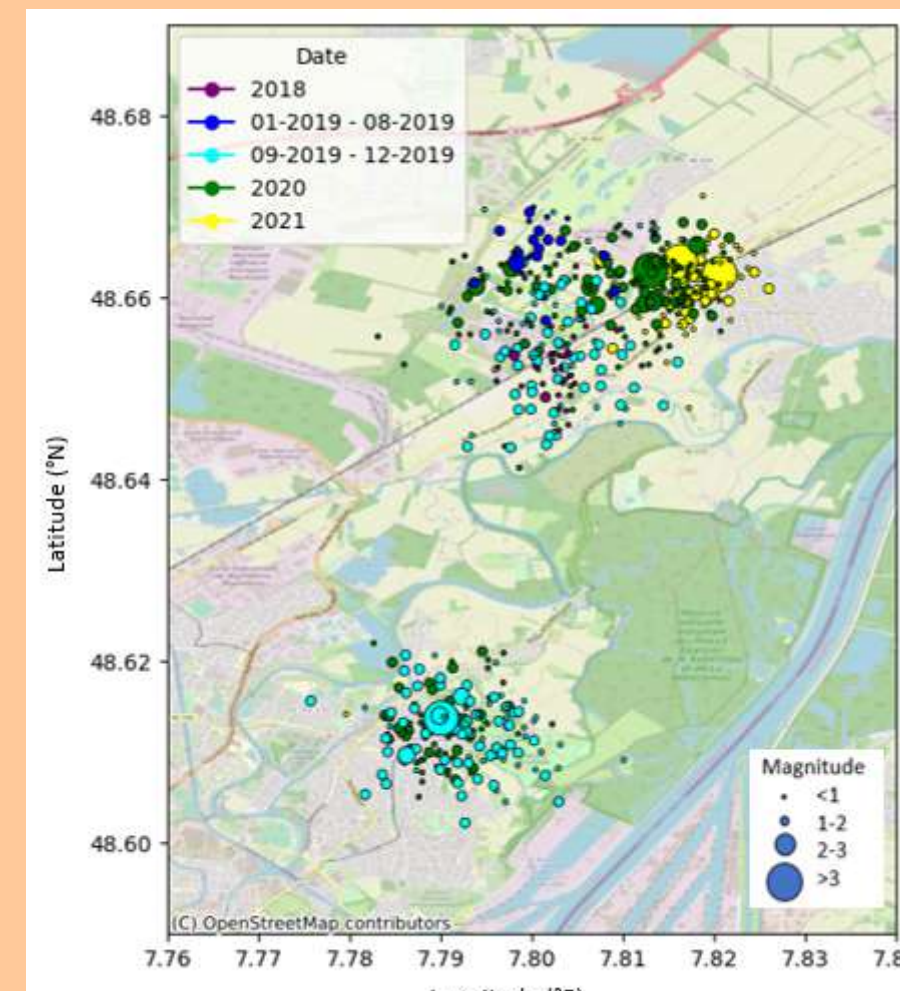
- profondeur max 5 km, activité depuis fin 2017,
- séismes de magnitude jusqu'à 4 aux alentours, 2 zones de forte activité sismique (séismes de magnitude > 3) : zone de La Wantzenau (Nord), zone de La Robertsau (Sud)

Comparaison avec les activités sismiques de plusieurs sites de géothermie :

- Soultz-Sous-Forêts :
 - profondeur max 5 km, depuis 20 ans
 - aucun séisme de magnitude > 2 aux alentours
- Betschdorf - Rittershoffen :
 - (profondeur max 2,6 km,, activité : depuis 2016)
 - aucun séisme de magnitude > 2 aux alentours

Une sismicité induite ?

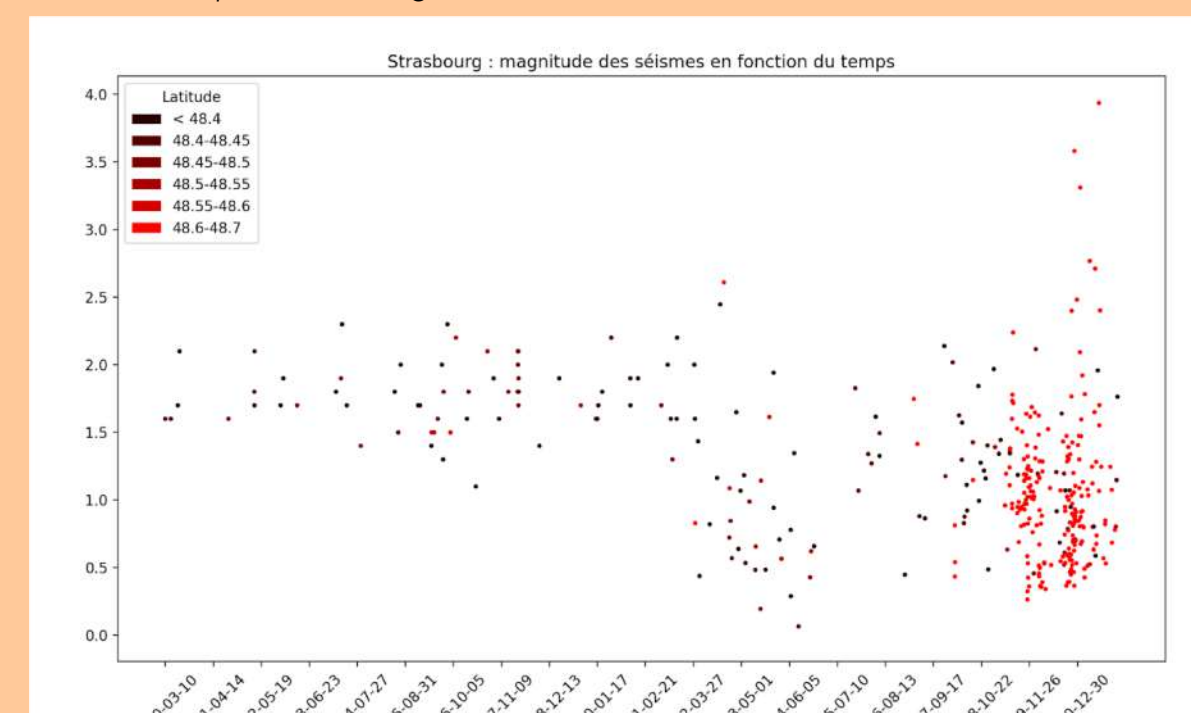
Répartition temporelle et magnitude des séismes



Périodes d'activité sismique dans la zone du site de Fonroche et localisation :

Avant mars 2018 : pas d'activité dans la zone
Mars 2018 : réalisation du premier test dans le puits 1, premiers séismes
→ globalement activité tout d'abord dans la zone Sud, puis déplacement dans la zone Nord après le lancement du puits 2. Des séismes se produisent après l'arrêt de l'activité (2021).

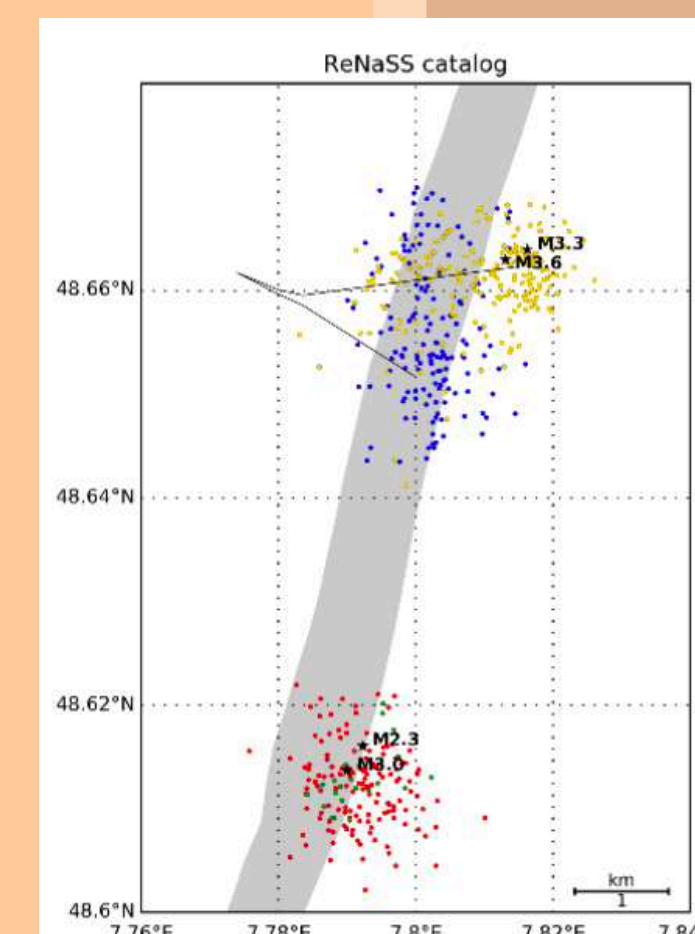
Séismes dans la région du site de géothermie de Fonroche depuis 2016, magnitudes MLv



Pour la période observée (2000-2018) l'activité sismique de Strasbourg est significative : séismes de magnitude comprise entre 0,2 et 2 et latitude entre 48,4 et 48,55

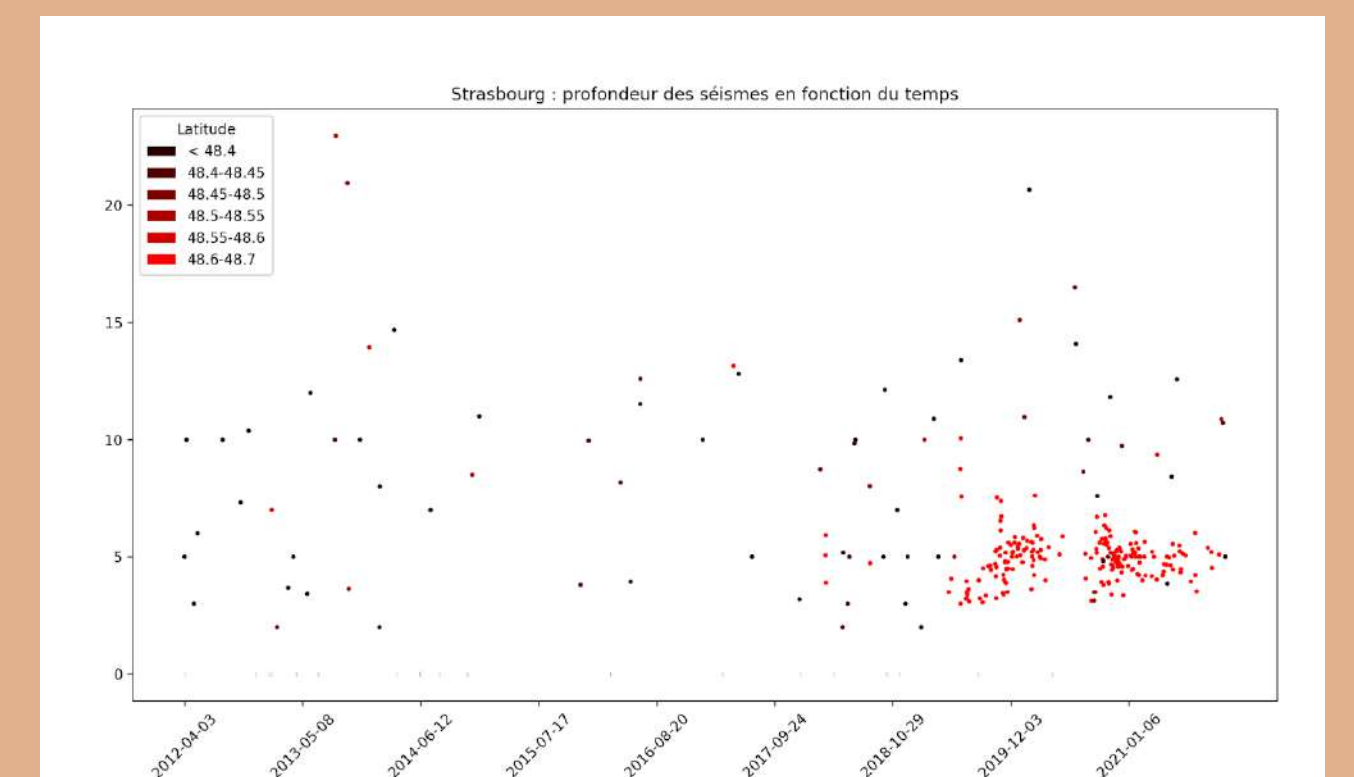
Durant la période d'activité (2018-2020) : plus grande densité de séismes, localisés plus haut (48,55-48,7) et magnitudes plus élevées (0,5-3,9)

Changement de comportement de la sismicité : séismes induits ?

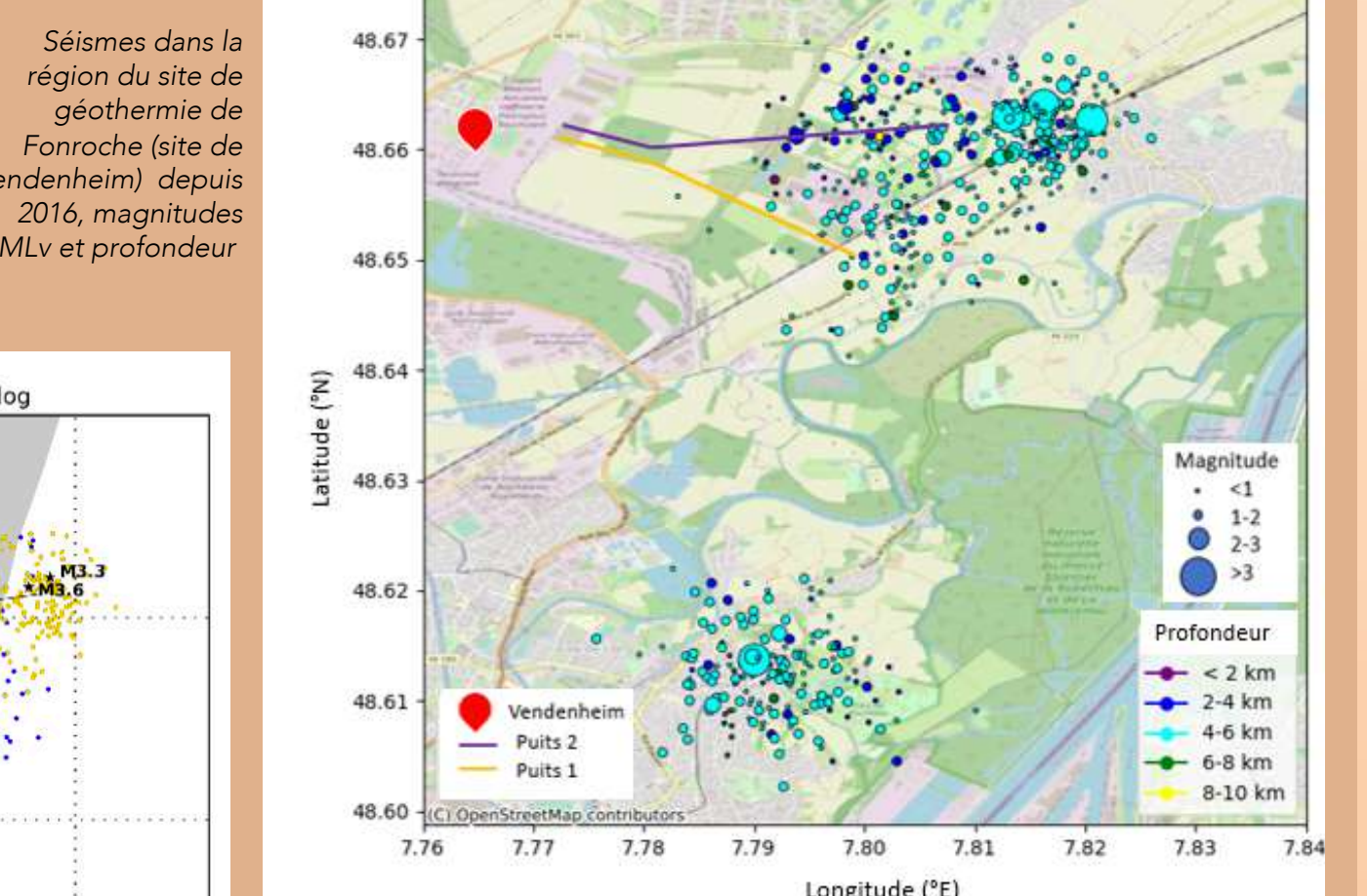


Faille verticale reliant les sites de La Wantzenau et La Robertsau. Source : Rapport de l'Académie des Sciences

Profondeur des séismes



Avant la période d'activité : profondeur entre 0 et 20 km de profondeur
Durant la période d'activité : séismes localisés vers les 5 km de profondeur = profondeur du forage



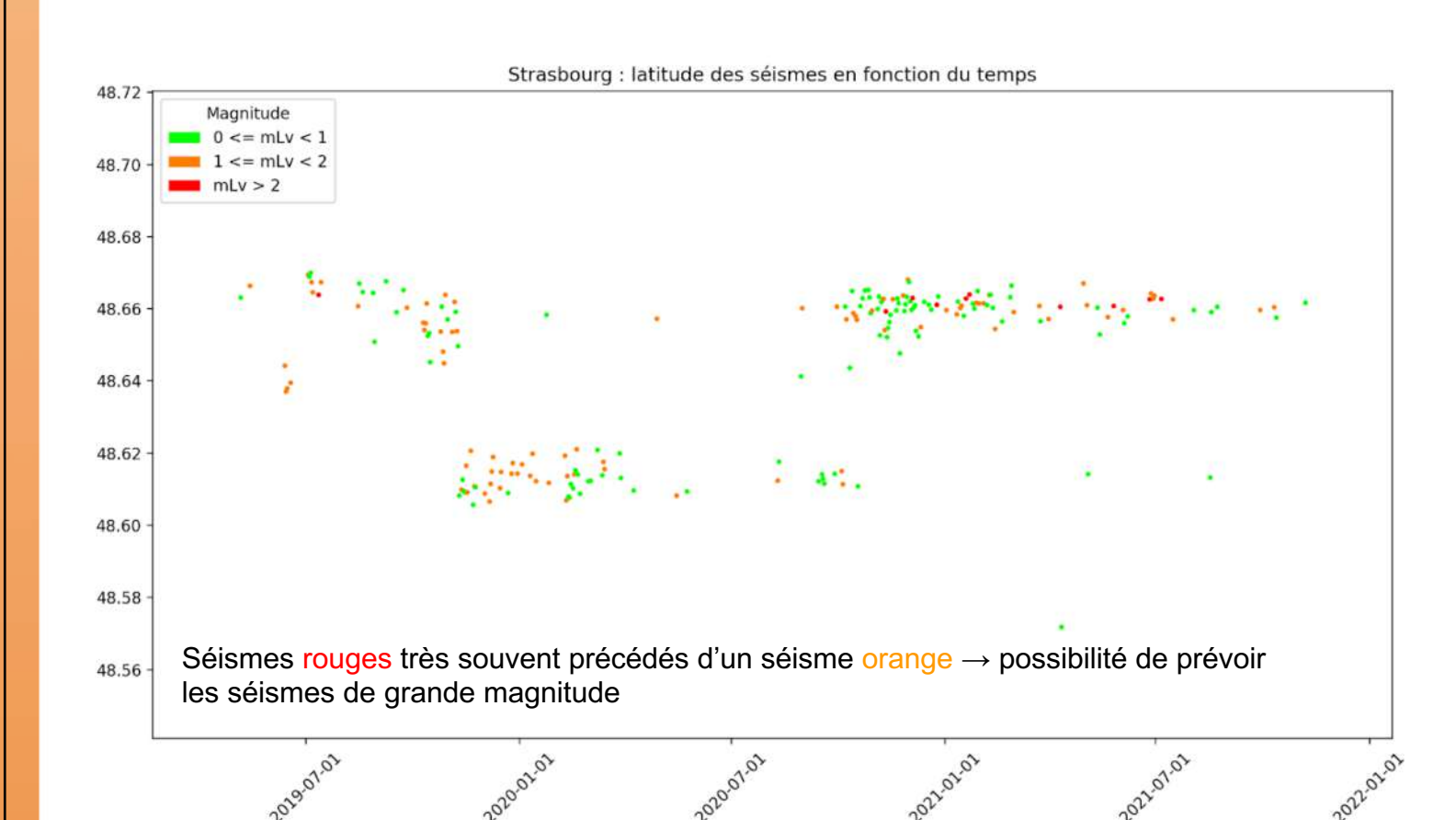
N.B. Les puits ne sont pas creusés à la verticale : on a représenté sur la carte les localisations des deux puits dont l'embouchure part du site de la centrale.

Profondeur des séismes dans la zone du site de Fonroche : principalement entre 4 et 6 km de profondeur, soit la profondeur maximale des puits

Localisation des séismes par rapport aux puits :
• zone de La Robertsau (Sud) : à 4-5 km des puits, plus au Sud
• zone de La Wantzenau (Nord) : à moins d'1 km du fond des puits

Prédire et réguler la sismicité : Traffic Light System

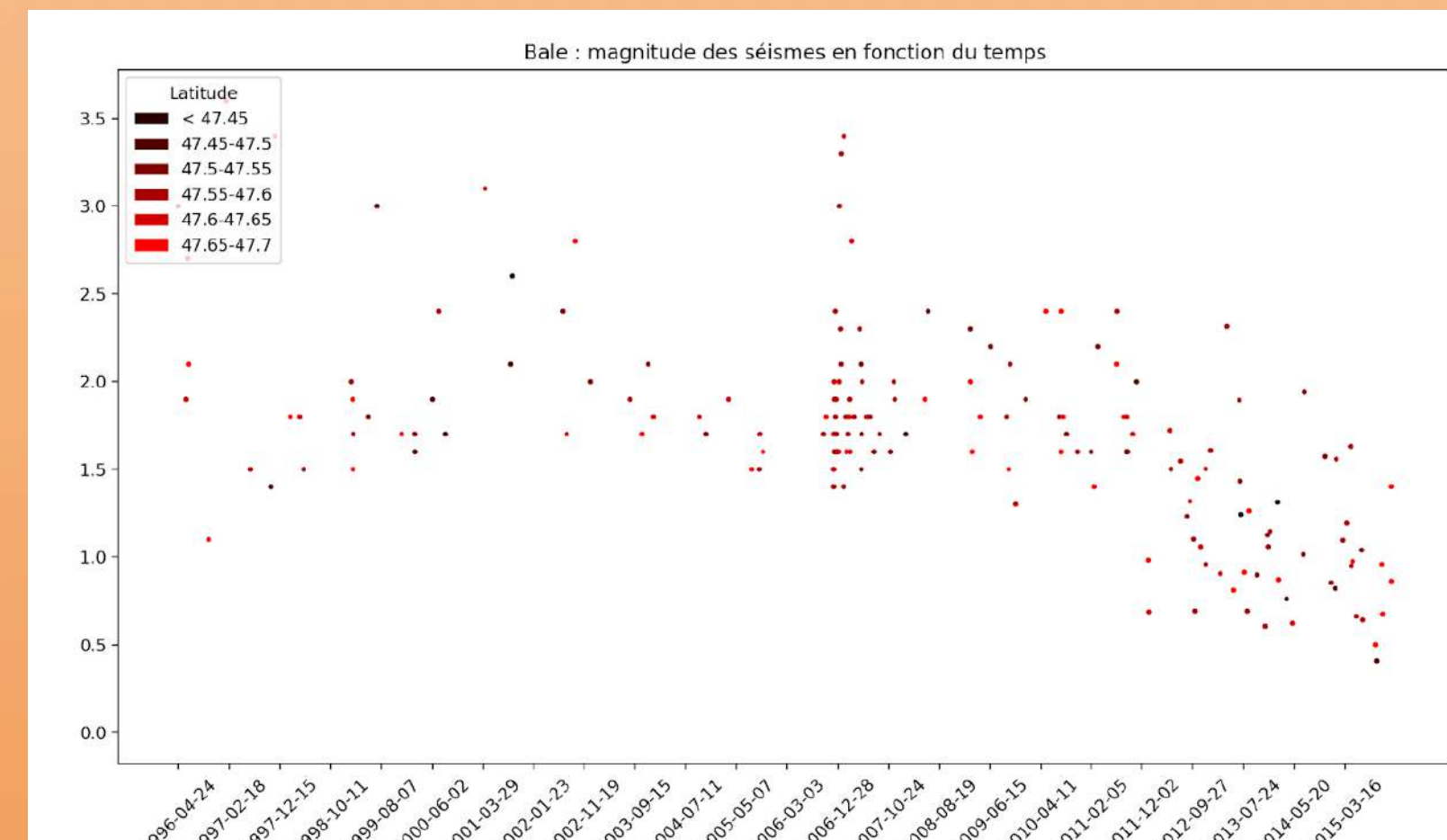
- Injections OK** (Green)
- Réduire les injections** (Yellow)
- Arrêter les injections** (Red)



Le Traffic Light System (ou TLS) est un système de précaution basé sur des feux tricolores, utilisé dans les projets de forage afin de réguler automatiquement les pressions d'injections. Il est sensé prévenir les risques de séisme majeur, et peut servir d'outil de régulation pour les autorités. Cela implique de définir des seuils d'interruption bas afin que les injections soient arrêtées plus tôt. Toutefois, plus le système de feux tricolores est prudent, plus cela aura des effets négatifs sur le taux de réussite commerciale des différents projets.

Les limites varient en fonction des régulateurs, les risques ne sont donc pas les mêmes (ex : UK = 0.5MLv, préfecture du Bas-Rhin : 2,0MLv)

Une situation similaire à Bâle, Suisse



	Bâle	Strasbourg
Pression maximum d'injection autorisée	300 bars (max)	100 bars (en théorie) Mais forage à 150 bars en novembre 2019 Et 140 bars en aout 2020
Profondeur de forage	~ 5000m	~ 5000m

Manque d'informations pour approfondir la comparaison (dates de forages ou d'injection...)

Conclusion :

Afin d'étudier la situation à Strasbourg, nous avons construits des cartes selon plusieurs axes (latitude, longitude, profondeur, magnitude, temps...) ce qui nous a permis d'analyser plus précisément l'influence de la géothermie profonde sur le risque sismique.

Le fait que la zone d'activité de Fonroche n'ait pas connu de séismes avant l'activité de géothermie, la proximité des épicentres des séismes avec les puits de forage (moins de 5 km), l'existence d'une faille permettant l'acheminement de la perturbation depuis les puits vers la zone de séismes la plus éloignée, la profondeur des séismes (égale à celle des puits), ainsi que les fortes pressions d'injection utilisées corroborent l'idée que les séismes étudiés ont été induits par l'activité géothermique.

Bibliographie

- 1) <https://renass.unistra.fr/fr/zones/>
- 2) www.geothermie-perspectives.fr
- 3) www.fonroche-geothermie.com
- 4) <https://www.bas-rhin.gouv.fr/content/download/29258/200837/file/Risque+sismique.pdf>
- 5) <https://www.geothermies.fr/outils/operations/la-centrale-geothermique-de-soultz-sous-foret-bas-rhin>
- 6) <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/energie-renouvelable-geothermie-profonde-centrale-unique-monde-ouvert-alsace-63183/>
- 7) Jean Schmittbuhl, Sophie Lambotte, Olivier Lengliné, Marc Grunberg, Hélène Jund, Jérôme Vergne, François Cornett, Cécile Doubré and Frédéric Masson, Induced and triggered seismicity below the city of Strasbourg, France, from November 2019 to January 2021, 5th August 2021, Comptes Rendus Géoscience Sciences de la Planète, Académie des sciences
- 8) https://www.oqaauthority.co.uk/media/5110/oqa_managing_onshore_induced_seismicity_infographic.pdf

