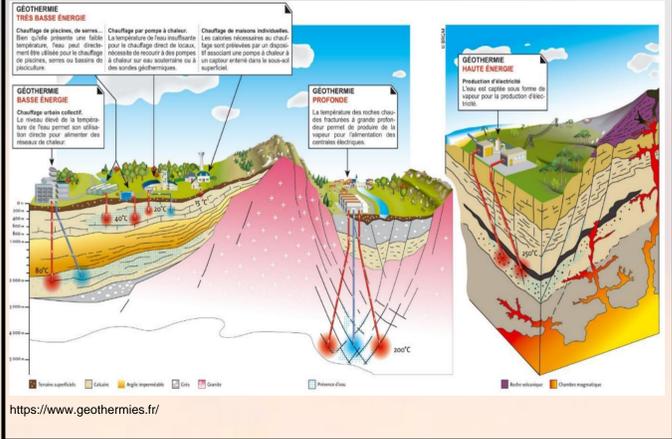


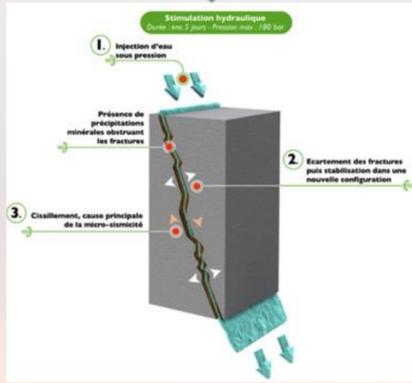
La géothermie, qu'est-ce que c'est ?

La **géothermie** est une technique permettant de récupérer la chaleur du sous-sol : on **injecte un fluide à haute pression** (100 bars) en profondeur, qui se réchauffe au contact des roches. Pour améliorer les rendements et faciliter les échanges de chaleur, on **utilise des failles**.



Les techniques possibles

- La **fracturation hydraulique** : on crée des failles dans une roche imperméable pour y faire circuler l'eau. Illégale en France.
- La **stimulation hydraulique** : on exploite (en fait, on les ouvre) des failles préexistantes, contenant naturellement du fluide.



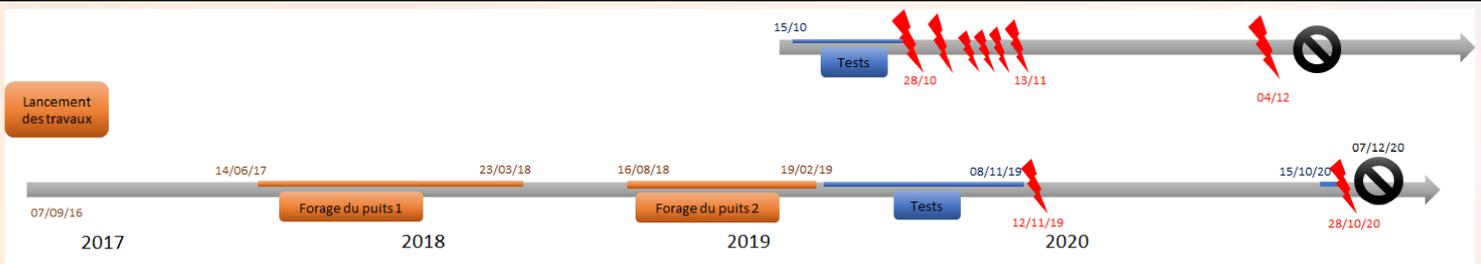
Un risque sismique ?

- La géothermie ouvre/réactive les failles, ce qui peut provoquer des glissements des roches et donc un **risque de sismicité induite**.
- Cependant, les glissements peuvent être lents et ainsi **asismiques** : dans ce cas, l'énergie accumulée se dissipe progressivement au lieu de se convertir en énergie élastique.

IL FAUDRAIT CONNAÎTRE L'HISTOIRE GÉOLOGIQUE ET LA RÉPARTITION DES CONTRAINTES DANS LE SOUS-SOL

Étude de cas: Fonroche

Fonroche



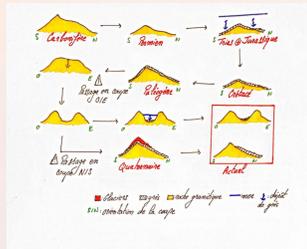
- Fonroche a été la cible de nombreuses attaques quant à sa potentielle responsabilité vis-à-vis des séismes qui se sont multipliés dans la région. **Une forte corrélation est en effet observée entre activités industrielle et sismique.**
- Nous avons contacté l'entreprise pour qu'elle réponde à ces attaques : elle met en avant un modèle géologique avec une étude des failles de la région qui ne donne pas de lien direct entre l'injection du fluide et les séismes.
- Scientifiquement, il paraît **difficile de trancher la question** : pour contrer ou valider l'argumentaire, il nous faudrait une connaissance bien plus fine de l'état des contraintes du sous-sol que celle que la technologie actuelle nous apporte.

Étude du fossé rhénan

Constat:
Le fossé rhénan est une zone riche en failles et très enclin aux séismes. On en recense 10 de magnitude supérieure à 6 depuis 1948.
(source : <http://www.bas-rhin.gouv.fr/content/download/29258/200837/file/Risque+sismique.pdf>)



Histoire géologique : pourquoi une telle sismicité ?

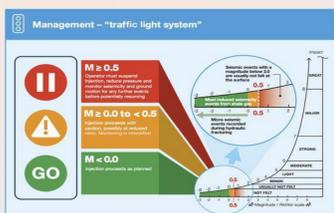


- Au niveau des Vosges: on passe des Vosges cristallines au sud (à socle granitique), aux Vosges gréseuses au nord, d'où un changement brusque au niveau du relief.
- Au niveau du fossé rhénan : la partie au sud de Strasbourg (vallée de la Bruche) est plus affaissée que celle qui s'étend au nord jusque vers le Rhin.

BILAN:



Les techniques de surveillance mises en place en conséquence

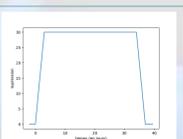


Les **systèmes de feux de signalisation (TLS)** sont couramment utilisés pour atténuer le risque de sismicité induite en modifiant le profil d'injection de fluide. Il est basé sur valeur seuil au-dessus de laquelle des actions doivent être prises.

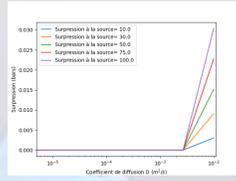
(source : <https://frackfreeformby.com/2019/02/18/risks-of-raising-red-traffic-light-limit/>)

Modélisation

Processus expérimental : on soumet le point d'injection à un trapèze de pression:



Mesure de la surpression à 1km après 2 mois



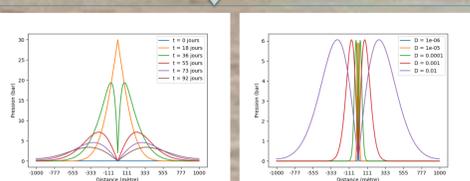
Équation de diffusion en 1D

$$\frac{\partial P}{\partial t} = D \frac{\partial^2 P}{\partial x^2}$$

Pour des coefficients de diffusion trop faibles, la surpression (et donc les risques de séismes) est nulle à 1 km !
En profondeur, on a $D \approx 10^{-8} m^2, s^{-1}$; mais la présence de failles peut largement l'augmenter de 5-6 ordres de grandeur.

Le modèle est fortement limité et ne saurait servir de preuve :

- manque d'informations sur le contexte géologique précis du site (failles, milieux)
- limites informatiques (discrétisation du temps et du milieu)
- limites théoriques (modélisation limitée) : 1D et pas 3D, aspect uniquement hydraulique et pas de couplage avec la mécanique



CONCLUSION

La situation dans la région de Strasbourg est préoccupante et d'actualité: un séisme de magnitude 3,7 sur l'échelle de Richter a été enregistré ce 4 décembre. Néanmoins, la **culpabilité de Fonroche ne peut pas être démontrée** tant l'étude complète du sous-sol et de ses propriétés sismiques est, encore de nos jours, un défi technique. De plus, l'entreprise dit posséder des **systèmes de détection des risques** suffisants et avoir cessé ses activités dans le sous-sol avant l'occurrence de certains séismes.

Si l'implication de Fonroche venait à être vérifiée, c'est **tout le secteur de la géothermie**, représentant environ 1,5% de la production d'énergie renouvelable en France, qui **serait menacé**.

Une situation similaire existe à Bâle en Suisse, où 4 séismes ont été observés en 5 semaines près d'un puit de géothermie profonde.

Bibliographie:

- Baisch, S., Köch, C. (2019). Traffic light systems : To what extent can induced seismicity be controlled? *Seismological Research Letters*, 90(3).
- Nouveau séisme au nord de Strasbourg : Les élus de plus en plus inquiets, la préfecture durcit le ton. (s. d.). France 3 Grand Est. Shapiro, S. A., Krüger, O. S., & Dinske, C. (2013). Probability of inducing given-magnitude earthquakes by perturbing finite volumes of rocks : INDUCED SEISMICITY IN FINITE DOMAINS. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(7), 3557-3575. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50264>

